

# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

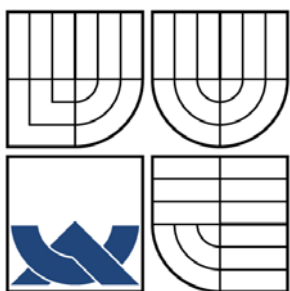
VÝROBA SOUČÁSTI PLOŠNÝM TVÁŘENÍM

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. MARCELA NUTILOVÁ

BRNO 2008



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE  
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## VÝROBA SOUČÁSTI PLOŠNÝM TVÁŘENÍM

PRODUCTION SINGLE PARTS FROM SHEET METAL

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. MARCELA NUTILOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. LADISLAV ŽÁK, Ph.D.

BRNO 2008

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2007/08

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Nutilová Marcela, Bc.

který/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303T002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

### **Výroba součástí plošným tvářením**

v anglickém jazyce:

### **Production single parts from sheet metal**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

z variantních návrhů technologií vybrat a navrhnout technologický postup výroby zadané součásti

Cíle diplomové práce:

Zhodnocení technologičnosti výroby součásti.

Literární studie

Návrh technologie výroby součásti

Konstrukční řešení tvářecího nástroje

Ekonomické zhodnocení

Seznam odborné literatury:

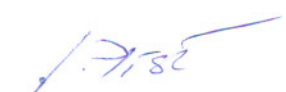
1. FREMUNT, Přemysl, PODRÁBSKÝ, Tomáš. Konstrukční oceli. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 1996. 267 s. ISBN 80-85867-95-8.
2. KOTOUČ, Jiří, et al. Tvářecí nástroje. ČVUT. 1. vyd. Praha : ČVUT, 1993. 350 s. ISBN 80-01-01003-1.
3. KŘÍŽ, Rudolf, VÁVRA , Pavel. Strojírenská příručka : 8.sv. : Tváření. Praha : Scientia, 1998. 255. ISBN 80-7183-054-2.
4. BOLJANOVIC, Vukota. Sheet Metal Forming Processes And Die Design. U.S. (USA) : Industrial Press Inc., 2005. 400 s. ISBN 9780831132590.

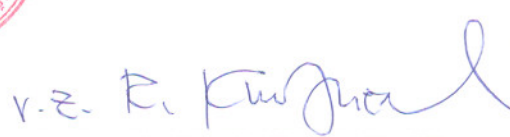
Vedoucí diplomové práce: Ing. Ladislav Žák, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2007/08.

V Brně, dne 28.11.2007



  
doc. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
Ředitel ústavu

  
doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty

## ABSTRAKT

NUTILOVÁ Marcela: Výroba součásti plošným tvářením.

---

Projekt vypracovaný v rámci inženýrského studia oboru strojírenská technologie (2303T002) předkládá návrh technologie výroby součásti z ocelového plechu S420MC stříháním, ohýbáním a lisováním. Na základě literární studie dané problematiky bylo navrženo několik variant postupů výroby tak, aby součást byla vyráběna v jednom nástroji. Postupový sdružený nástroj je upnut na klikovém lisu WAINGARTEN ARP 80 s nominální silou 800 kN. Všechny funkční části jsou vyrobeny z nástrojové oceli 19 573.3 s tepelným zpracováním podle výkresové dokumentace. Spodní funkční části nástroje (střížnice, lisovnice a ohybnice) jsou vyrobeny jako dělené.

Klíčová slova: plošné tvářením, stříhání, ohýbání, prolis

## ABSTRACT

NUTILOVÁ Marcela: Production single parts from sheet metal

---

The project drawn up within the framework of engineering studies in discipline Manufacturing technology (2303T002) presents a proposal for processing a single part – the part is made of sheet steel number S420MC – by blanking, bending and stamping. On the basis of a literary exploration of given problems several variants of processing a part was propounded in order to be made in just one tool. The transfer combined die is fixed in crank press WAINGARTEN ARP 80 with 800 kN nominal force. All functional parts are made of heat treated tool steel number 19 573.3 according to drawing documentation. Lower functional parts of tool (blanking die, stamping die and bending tool) are made as divided.

Key words: sheet metal forming, blanking, bending, dimple

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

NUTILOVÁ, M. *Výroba součástí plošným tvářením*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 105 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Ladislav Žák, Ph.D.

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Tímto prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci jsem vypracovala samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

V Mirotině dne 20. 5. 2008

.....

Podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto děkuji vedoucímu práce panu Ing. Ladislavu Žákovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce. Dále děkuji panu Ing. Stanislavu Licehamrovi a Zdeňku Kroftovi za ochotné poskytnutí odborných rad. A v neposlední řadě děkuji svým rodičům a příbuzným, kteří mne podporovali při studiu na vysoké škole.



# OBSAH

## TITULNÍ LIST

## ZADÁNÍ

<b>ABSTRAKT.....</b>	<b>3</b>
<b>BIBLIOGRAFICKÁ CITACE .....</b>	<b>4</b>
<b>ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ .....</b>	<b>5</b>
<b>PODĚKOVÁNÍ .....</b>	<b>6</b>
<b>OBSAH .....</b>	<b>7</b>
<b>1. ÚVOD .....</b>	<b>10</b>
<b>2. ZHODNOCENÍ TECHNOLOGIČNOSTI VÝROBY SOUČÁSTI .....</b>	<b>11</b>
<b>2.1. Technologičnost materiálu .....</b>	<b>12</b>
2.1.1. Nástřihový plán – 1. varianta.....	12
2.1.2. Nástřihový plán – 2. varianta.....	12
2.1.3. Nástřihový plán – 3. varianta.....	13
2.1.4. Materiál součásti .....	13
<b>2.2. Technologičnost výstřižků .....</b>	<b>14</b>
<b>2.3. Technologičnost ohýbaných součástí .....</b>	<b>17</b>
<b>3. LITERÁRNÍ STUDIE.....</b>	<b>19</b>
<b>3.1. Proces stříhání.....</b>	<b>19</b>
3.1.1. Průběh stříhání uzavřeného stříhu .....	20
3.1.2. Rozbor stavu napjatosti uzavřeného stříhání .....	21
3.1.3. Jakost střížné plochy.....	22
3.1.4. Střížná vůle a tolerance střížných nástrojů.....	22
3.1.5. Přípustné výšky jehel na výstřižcích .....	25
3.1.6. Technologické a konstrukční výpočty .....	26
3.1.7. Funkční části nástroje .....	32
3.1.8. Materiály funkčních částí .....	37
3.1.9. Stroje a zařízení ke stříhání .....	38
<b>3.2. Proces ohýbání.....</b>	<b>39</b>
3.2.1. Ohýbání širokých pásů .....	40
3.2.2. Rozbor stavu napjatosti a přetvoření .....	40
3.2.3. Odpružení při ohybu .....	41
3.2.4. Přesnost a jakost při ohýbání.....	44
3.2.5. Stanovení $R_{min}$ a $R_{max}$ .....	45
3.2.6. Stanovení délky polotovaru.....	47
3.2.7. Výpočet ohybové síly, práce a vůle.....	47
3.2.8. Funkční části ohýbacího nástroje pro lisy .....	49
3.2.9. Materiál funkčních částí .....	50
3.2.10. Stroje a zařízení k ohýbání.....	50
<b>3.3. Prolisování – reliéfní přetváření .....</b>	<b>51</b>

3.4.	Druhy nástrojů podle vykonávaných operací .....	52
4.	NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY SOUČÁSTI .....	53
4.1.	Varianty výroby.....	53
4.1.1.	Varianta I .....	53
4.1.2.	Varianta II .....	54
4.1.3.	Varianta III .....	55
4.1.4.	Varianta IV .....	56
4.1.5.	Vyhodnocení variant .....	57
4.2.	Využití materiálu vybraných variant .....	57
4.2.1.	Varianta II .....	57
4.2.2.	Varianta IV .....	58
4.2.3.	Vyhodnocení variant z hlediska využitelnosti materiálu .....	60
4.3.	Výrobní požadavky .....	60
4.4.	Variantní řešení postupového nástroje .....	60
4.4.1.	Varianta A .....	60
4.4.2.	Varianta B .....	61
4.4.3.	Varianta C .....	63
4.4.4.	Varianta D .....	64
4.4.5.	Vyhodnocení variantních postupů výroby .....	65
4.5.	Technologický postup zahrnující výrobu součásti .....	66
5.	KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ TVÁŘECÍHO NÁSTROJE.....	66
5.1.	Výpočty stříhání.....	66
5.1.1.	Střížná síla .....	66
5.1.2.	Střížná práce.....	67
5.1.3.	Síla potřebná k setření materiálu ze střížníku .....	67
5.1.4.	Síla potřebná k vysunutí výstřížku ze střížnice .....	68
5.1.5.	Střížná vůle .....	68
5.1.6.	Kontrolní výpočet střížníků na tlak .....	68
5.1.7.	Kontrolní výpočty střížníků na vzpěr .....	69
5.2.	Výpočty ohýbání.....	70
5.2.1.	Výpočet odpružení .....	70
5.2.2.	Stanovení $R_{min}$ a $R_{max}$ .....	70
5.2.3.	Rozměr polotovaru – velikost rozvinutého tvaru .....	71
5.2.4.	Ohybová síla .....	72
5.2.5.	Přidržovací síla .....	73
5.2.6.	Ohybová práce.....	73
5.2.7.	Vůle mezi nástroji.....	74
5.3.	Prolis – vyztužení součásti.....	74
5.4.	Umístění stopky.....	74
5.4.1.	Výpočtem .....	75
5.4.2.	Graficky .....	77
5.5.	Výrobní tolerance funkčních částí .....	79
5.6.	Návrh tvářecího stroje.....	79
5.7.	Popis nástroje.....	81

<b>6. EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ .....</b>	<b>83</b>
<b>6.1. Nepřímé náklady – Náklady na nástroj .....</b>	<b>83</b>
<b>6.2. Přímé náklady .....</b>	<b>85</b>
6.2.1. Náklady na materiál .....	85
6.2.2. Náklady na energii .....	88
6.2.3. Náklady na mzdy .....	88
<b>6.3. Cena jedné vyrobené součásti .....</b>	<b>89</b>
<b>7. ZÁVĚR.....</b>	<b>90</b>
<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>92</b>
<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>95</b>
<b>PŘÍLOHY.....</b>	<b>96</b>

# 1. ÚVOD

Plošné tváření ve strojírenství patří k technologiím, u kterých je požadován rychlý inovační cyklus, který plyne z požadavků vysoké kvality jakosti, efektivnosti práce a úspory materiálu.

Plošným tvářením lze vyrobit součásti, které jinou technologií nelze vyrobit nebo ji vyrobíme se značnou úsporou materiálu a pracnosti. Například s výhodou můžeme tvářenými díly nahradit svařence. Součásti se vyznačují nízkou hmotností a dobrou tuhostí, která se zvyšuje vytvořením prolisů, žeber nebo lemů.

Při plošném tvářením se jako polotovary převážně využívá plech, který tvářením mění tvar bez podstatné změny tloušťky a bez porušení soudržnosti. Výjimku tvoří stříhání, kde k porušení soudržnosti dochází.

Mezi základní operace při zpracování plechu patří stříhání, ohýbání, tažení a tvarování.

Polotovary nebo hotové součásti lze vyrobit v nástrojích v jedné nebo více operacích. Přitom nákladnost nástrojů je dána složitostí, velikostí a požadovanou jakostí vyráběných součástí.

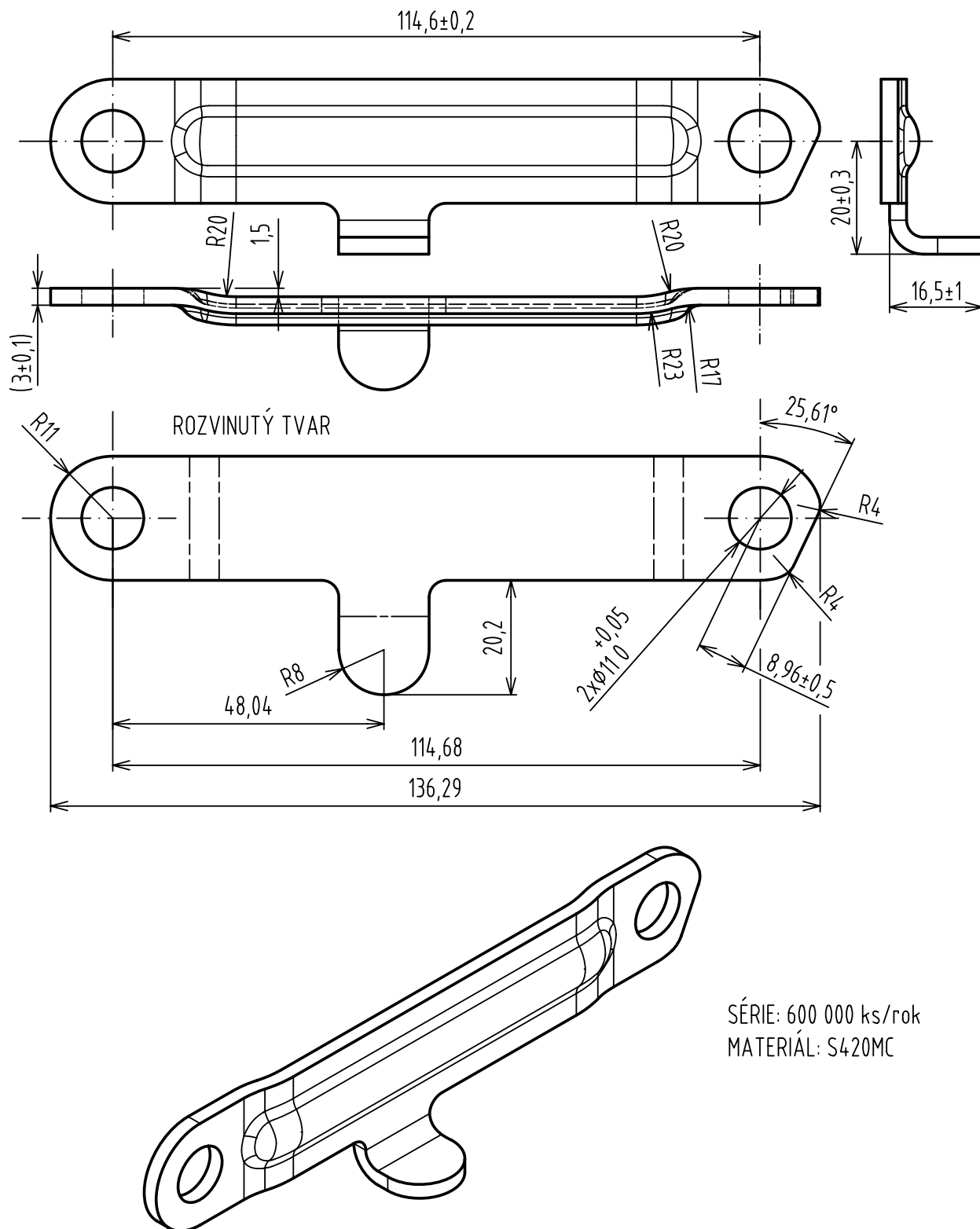
Při tvářením je cena a hospodárnost součásti závislá na sériovosti, protože se tvářecí proces nerealizuje jen na výrobně drahém nástroji, ale i na značně nákladném tvářecím stroji. Proto při hromadné a často se opakující sérii jsou náklady na jeden kus součásti nízké.

Největší procento z celkových tvářecích nástrojů tvoří střížné nástroje, protože s nimi lze vyrobit jak hotový díl, tak polotovar pro další operace plošného tvářením.

Operace stříhání a ohýbání budou uplatněny pro výrobu „táhla“, které je využito v automobilovém průmyslu jako součást mechanismu pro otevírání kapoty motoru. Pro zvýšení tuhosti bude zahrnuta výroba prolisu. Výsledkem práce by měl být návrh nástroje, nebo několik nástrojů, jenž součást vyrobí.

## 2. ZHODNOCENÍ TECHNOLOGIČNOSTI VÝROBY SOUČÁSTI

Tvar a rozměry součásti, kterých má být dosaženo při výrobě, jsou zakótovány na obr. 2.1.



Obr. 2.1 Rozměry zadané součásti

Technologičnost výroby znamená zhodnocení zpracovávaného materiálu a způsobu výroby součásti tak, aby součást byla zhotovena při nejnižších nákladech, v nejkratším časovém úseku (zahrnuje předvýrobu, tak i výrobu) za předpokladu zhotovení funkčního a kvalitního dílu.

## 2.1. TECHNOLOGIČNOST MATERIÁLU

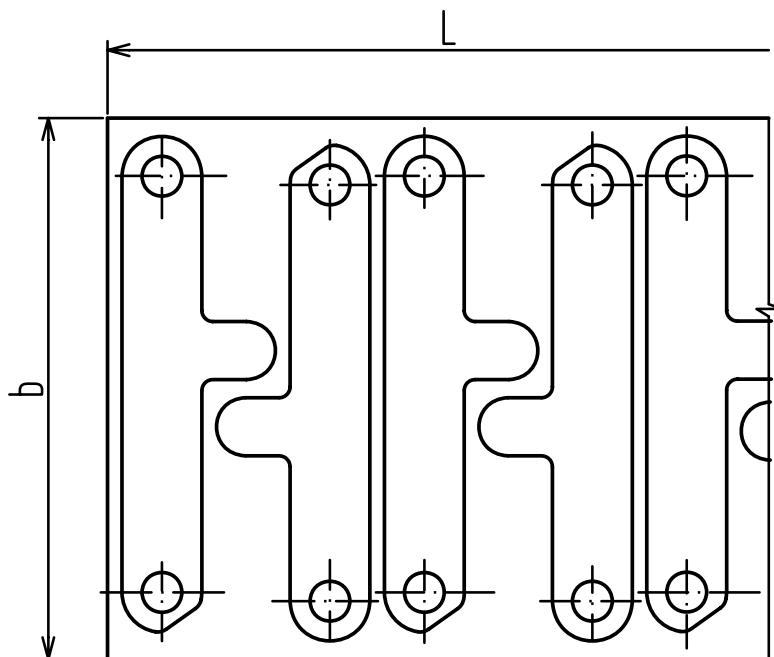
Součást bude vyráběna z plechu, to znamená, že výroba bude realizována plošným tvářením, kombinací technologií stříhání, ohýbání a lisování prolisu.

Součást bude vyráběna v sérii 600 000 ks/rok, z toho vyplývá, že se jedná o sériovou výrobu, k níž bude navržena vhodná varianta nástřihového plánu.

Nedílnou součástí pro zhodnocení technologičnosti je i posouzení materiálového využití. Součást je možno z hlediska využitelnosti poskládat do tří variant, které budou v následujících bodech popsány.

### 2.1.1. Nástřihový plán – 1. varianta

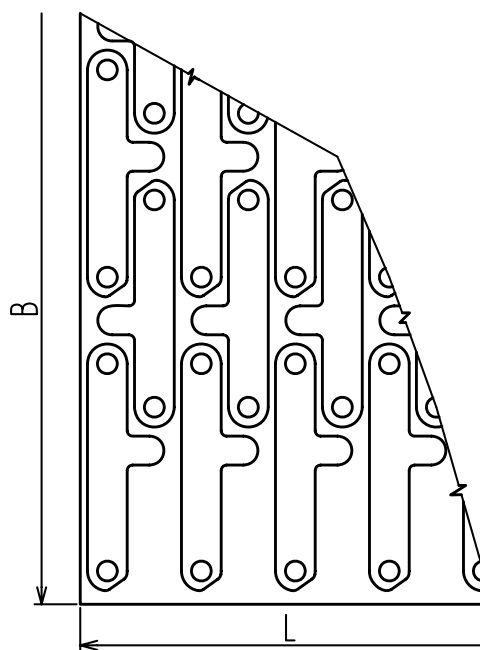
Polotovar je pás plechu o šířce  $b$  stříhaný na tabulových nůžkách nebo svitek plechu o šířce  $b$ . Vhodně zvolený polotovar je závislý na druhu způsobu technologie výroby. Na páse plechu jsou poskládány součásti tak, že každé dvě jsou výstupky otočeny k sobě a zároveň jsou vůči sobě pootočené o  $180^\circ$ . Přesné vyobrazení je na obr. 2.2.



Obr. 2.2 Nástřihový plán – 1. varianta

### 2.1.2. Nástřihový plán – 2. varianta

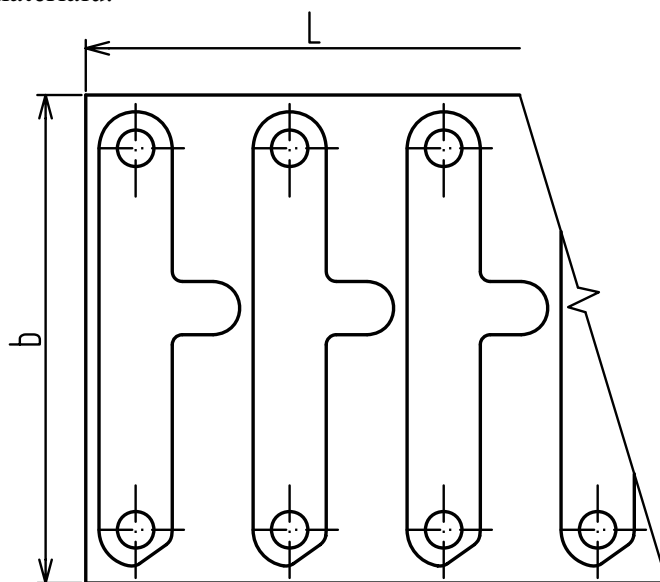
Ve druhé variantě je jako polotovar využita tabule plechu. Z obr. 2.3 je vidět, že po rozmístění součástí po celé tabuli plechu bude využitelnost materiálu největší. Procento využití bude závislé na použité výrobní technologii. To znamená, že každý způsob výroby má jiné rozměrové požadavky na okraje a můstky. Možné způsoby výroby jsou paprsek vody, elektronů, laser, plasma, vysekávací lis.



Obr. 2.3 Nástřihový plán – 2. varianta

### 2.1.3. Nástřihový plán – 3. varianta

Varianta, ve které jsou součásti orientované na výšku a jsou uspořádány za sebou obr. 2.4. Je možno využít tabule plechu, která je tabulovými nůžkami stříhána na pásy o šířce  $b$ , nebo svitek plechu o téže šířce. Vzhledem k uspořádání je vidět, že tento způsob má nejmenší využití materiálu.



Obr. 2.4 Nástřihový plán – 3. varianta

### 2.1.4. Materiál součásti

Pro zhotovení správné a výrobou nijak nepoškozené součásti je důležitým faktorem vhodné zvolení materiálu, z kterého bude součást vyráběna. Materiál musí vykazovat takové

mechanické vlastnosti a chemické složení, aby součást po dobu svého provozu zcela plnila svou funkci.

Díl proto bude zhotoven z ocelového plechu s označením **S420MC**, který je vyráběn termomechanickým válcováním za tepla z oceli s vyšší mezí kluzu. Je vhodný pro zpracování za studena a mezi základní operace patří ohýbání, lemování, profilování atd. Vzhledem k nízkému uhlíkovému ekvivalentu je vhodný i pro svařování. [13]

Značka oceli	Minimální mez kluzu $R_{eH}$ [MPa]	Mez pevnosti $R_m$ [MPa]	Minimální tažnost [%]	Minimální nárazová práce KV [ $^{\circ}\text{C}/\text{J}$ ] - podél	Zkouška lámavosti (ohyb) - napříč	Maximální tloušťka [mm]
S420MC	420	480-620	19	-20/40	0,5 t	20

**Tab. 2.1 Mechanické vlastnosti materiálu [13]**

Hodnoty meze pevnosti  $R_m$  byly zjištěny tahovou zkouškou.

#### Rozklíčování jednotlivých znaků:

S ... oceli pro ocelové konstrukce  
 420 ... minimální mez kluzu  $R_{eH}$  [MPa]  
 M ... termomechanicky válcováno  
 C ... se zvláštní tvařitelností za studena

Chemické složení tavby v hmotnostních % pro oceli dle ČSN EN 10149-2								
C max.	Si max.	Mn max.	P max.	S max.	Al celk. max.	Nb max.	V max.	Ti max.
0,12	0,5	1,6	0,025	0,015	0,015	0,09	0,2	0,15

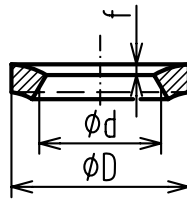
**Tab. 2.2 Chemické složení [13]**

## **2.2. TECHNOLOGIČNOST VÝSTŘIŽKŮ [2]**

Při návrhu součásti vzniklé stříháním je nutno dbát na nedostatky, které tuto technologii doprovázejí:

- nerovnoměrná drsnost střížné plochy vlivem průběhu deformace a jakosti materiálu (dosažená drsnost střížné plochy je též dána použitým druhem stříhání),
- mírně zešikmená střížná plocha vlivem střížné mezery a její opotřebení,
- zeslabení tloušťky plechu podél střížné plochy,
- zpevnění střížné plochy do hloubky **(0,1 ÷ 0,2) t**,
- odchylky rozměrů výstřížku vzniklé opotřebením nástroje,
- prohnutí některých součástí vlivem ohybových sil.

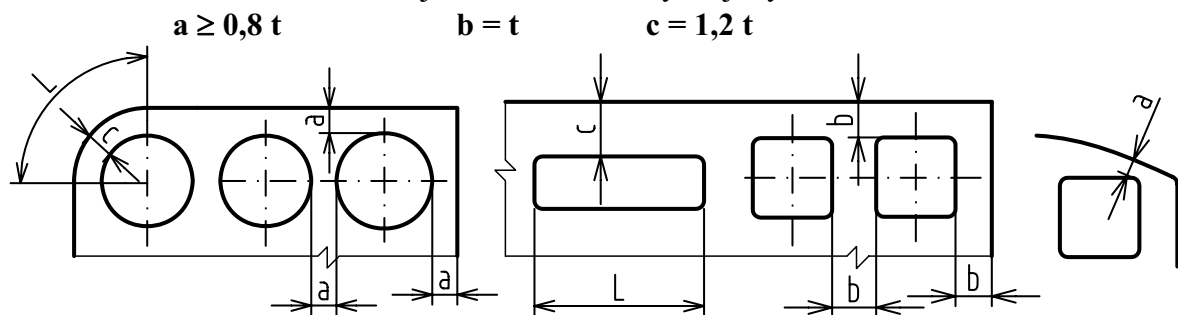




Obr. 2.5 Deformace výstřižků ohybem [2]

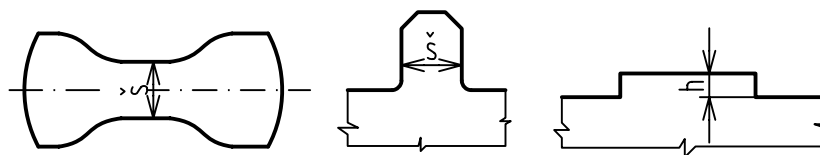
Abychom se vyvarovali výše uvedených nedostatků a aby daná součást byla vyrobitelná a funkční, je nutno dodržovat určité zásady:

- zvážit rozvětvenost součásti vzhledem k využití materiálu,
- nepředepisovat toleranci menší, než je běžná mez dosažitelná stříháním,
- rohy součásti srazit nebo zaoblit  $r > 0,5 t$ ,
- pokud není střížná plocha funkční, nepředepisovat drsnost ani kolmost,
- nepředepisovat rovinnost výstřižku, protože dochází k deformaci (pokud ano, musí následovat operace rovnání po vystřížení nebo během kroků v nástroji),
- tvar výstřižku co nejjednodušší (kruhový),
- nejmenší prostřížený otvor  $D/t = 1,5$
- vzdálenosti otvoru od okraje nebo mezi otvory mají být:



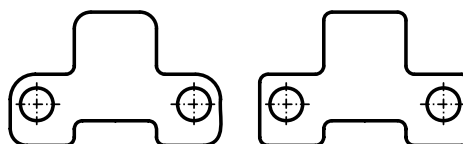
Obr. 2.6 Minimální vzdálenosti [2]

- šířka vyčnívajících částí nebo nejmenší šířka štíhlých výstřižků musí být  $\check{s} \geq 1,5 t$ ,
- nejmenší výška širších výstupků  $h \geq 1,2 t$ ,



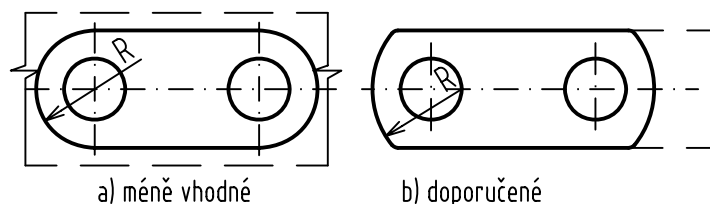
Obr. 2.7 Minimální šířky a výšky výstupků [2]

- nevhodné volit různé velikosti zaoblení,



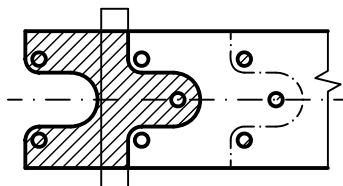
Obr. 2.8 Zaoblení výstřižků [2]

- plynulé přechody oblouků do přímých částí obrysu zdražují nástroj a vyžadují uzavřený stříh (ztráta materiálu přepážkami a postranním odpadem),



Obr. 2.9 Zaoblení výstřížků [2]

- nejvhodnější vnější tvar výstřížku, pokud jsou protilehlé strany tvarovány jako negativ a pozitiv a dílce je možno stříhat bez můstku a v některých případech i bez okrajů,

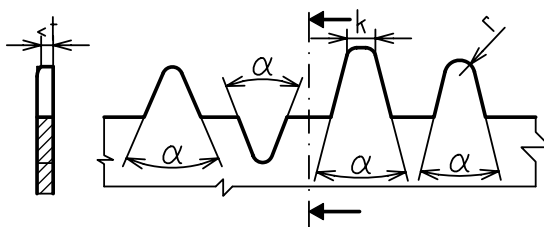


Obr. 2.10 Tvar výstřížků [2]

- poloměry zaoblení rohů při uzavřeném stříhu tím větší, čím je roh ostřejší. Podle tvrdosti materiálu lze doporučit jako nejmenší úhly rohu (hrotu nebo zářezu).

Tvrdé plechy	$\alpha \geq 90^\circ$	$R_m > 600 \text{ MPa}$
	$\alpha \geq 60^\circ$	$R_m > 300 \text{ MPa}$
Měkké plechy	$\alpha \geq 60^\circ$	$R_m > 300 \text{ MPa}$
	$\alpha \geq 45^\circ$	$R_m < 300 \text{ MPa}$

Tab. 2.3 Úhly výstupků v závislosti na pevnosti plechu



Obr. 2.11 Úhly výstupků [2]

### Zhodnocení:

- Součást má jeden výstupek, který vzhledem k uspořádání a orientaci na svitku plechu zvyšuje spotřebu materiálu, ale vzhledem k sériovosti a funkčnosti součásti ji nelze jinak vhodně tvarově upravit.
- Součást musí zajistit požadovanou toleranci v rozteči a průměru otvorů a v zešikmení u jednoho poloměru, které se dají zajistit běžným stříháním v nástroji. Jinak výrobek neklade velké požadavky.
- Rádus přechodu k výstupku splňuje podmínku  $r > 0,5 \cdot t = 0,5 \cdot 3$   
 $3 > 1,5 \text{ [mm]}$
- Drsnost ani kolmost střížné plochy není předepsána.
- Na rovinnost nejsou též kladeny zásadní podmínky.
- Tvar výstřížku je jednoduchý a neobsahuje žádné ostré ani složité hrany.

- Nejmenší prostřižený otvor  $D = 1,5 \cdot t = 1,5 \cdot 3 = 4,5$  [mm]. Součást obsahuje otvor  $D' = 11$  mm.
- Nejmenší vzdálenost otvoru od okraje výstřižku je  $t = 3$  mm. V dané součásti je vzdálenost 5,5 mm.
- Šířka vyčnívajícího výstupku je  $\begin{matrix} \check{s} \geq 1,5 \cdot t = 1,5 \cdot 3 \\ 16 \geq 4,5 \end{matrix}$  [mm].
- Vzhledem k charakteru součásti je toto zaoblení vyhovující.
- Výška výstupku je  $\begin{matrix} h \geq 1,2 \cdot t = 1,2 \cdot 3 \\ 20,29 \geq 3,6 \end{matrix}$  [mm].

Technologičnost výstřižku je vyhovující a danou součást lze vyrobit stříháním.

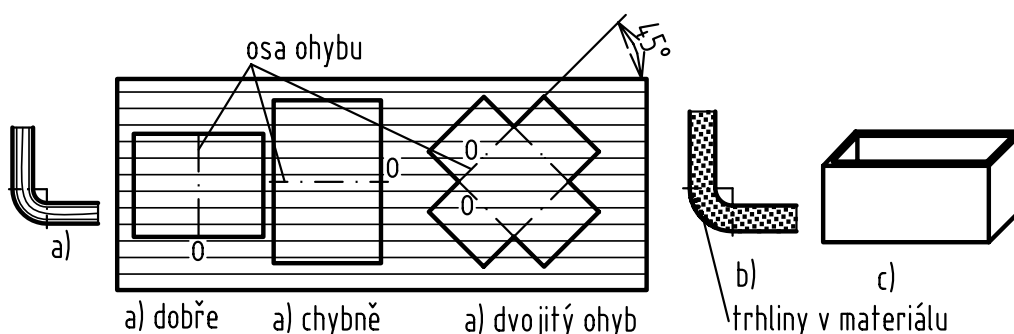
## 2.3. TECHNOLOGIČNOST OHÝBANÝCH SOUČÁSTÍ [2]

U ohýbaných součástí má na technologičnost hlavní vliv tvárnost materiálu a zároveň se musí opět respektovat nedokonalosti související s procesem ohýbání:

- deformace průřezu v místě ohybu,
- nepřesnost ohybu vlivem odpružení,
- nezmenšovat  $R_{\min}$  (vznik trhlin na vnější straně ohybu),
- zpevnění materiálu v místě ohybu.

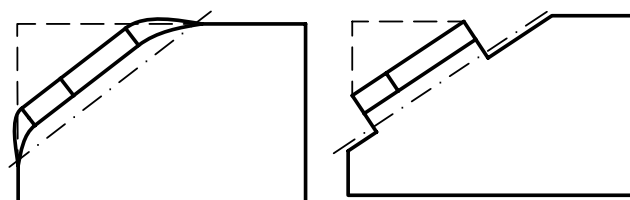
Zásady, které musíme respektovat v závislosti na výše uvedených nedostatcích:

- pro zmenšení odpružení se sníží poloměr ohybu, ale nesmí dosáhnout hodnoty menší, než je  $R_{\min}$ , snížení nebo vyeliminování odpružení lze dosáhnout i ohýbáním s kalibrací,
- osa ohybu kolmá na směr vláken, pokud tuto podmínku nelze splnit, poloměr ohybu se musí zvětšit,



Obr. 2.12 Ohyb v závislosti na směru vláken [2]

- tolerance ohýbaných součástí nezmenšovat pod mez, které je možno dosáhnout danou technologií,
- aby nenastala deformace, musí být okraj polotovaru kolmý k ose ohybu,

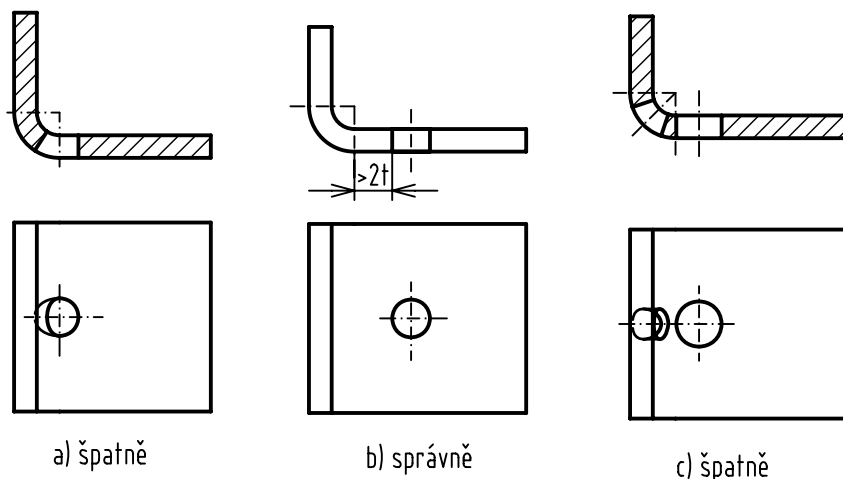


a) bez okraje

b) s kolmým okrajem

Obr. 2.13 Úprava ohybu [2]

- okraje otvoru minimální  $2t$  od čáry ohybu, aby otvory nebyly ovlivněny,



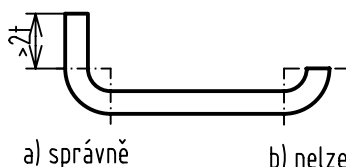
a) špatně

b) správně

c) špatně

Obr. 2.14 Vzdálenosti otvorů od okraje [2]

- pokud vzdálenost ohybu od okraje polotovaru je menší než  $2t$ , musíme rameno ustříhnout delší a po ohnutí zastříhnout na stanovenou hodnotu,



a) správně

b) nelze

Obr. 2.15 Nejmenší délka ramene po ohnutí [2]

- na součásti s velkým poloměrem ohybu vytváříme prolisy nebo žebra, které zvyšují tuhost součásti.

### Zhodnocení:

- Hodnota ohybu byla stanovena na  $R = 3 \text{ mm}$ , což odpovídá hodnotě minimálního poloměru. A podle ohybových zkoušek daného materiálu, které byly výrobcem provedeny napříč vlákny, bylo zjištěno, že při tloušťce  $t$  lze zvolit minimální ohyb  $0,5t$ ,
- Osa ohybu je kolmá ke směru vláken v případě poloměru ohybu  $R = 3 \text{ mm}$ . Poloměr ohybu ve směru vláken by měl být o něco větší. Podle zadané součásti je tento poloměr  $R = 17 \text{ mm}$ , který je možno zhotovit bez poškození soudržnosti materiálu.

- Tolerance je v souladu s danou technologií.
- Okraj ohybu je kolmý k ose ohybu, deformace nenastane.
- Vzdálenost čáry ohybu od okraje je přibližně **18 mm** a to je větší než minimální požadovaná hodnota **6 mm**.
- Ohyb s větším poloměrem je tak malý, že neovlivní otvory poblíž ohybu. Nebo je vystříhneme až po ohnutí.

Při splnění těchto zásad bude možno vyrobit součást ohýbáním.

Součást, která bude vyráběna kombinací operací stříháním a ohýbáním je, vzhledem k technologičnosti výroby, vyrobitelná tak, aby byla funkční a dosahovala požadovaných rozměrů.

Pro zajištění tuhosti plechové součásti je do technologie výroby zahrnuta operace vytvářející oválný prolis.

### 3. LITERÁRNÍ STUDIE

Literární studie je zaměřena na technologie, kterými bude daná součást vyráběna. V tomto případě se jedná o technologii stříhání a ohýbání. Okrajově bude zmíněna tvorba prolisů pro zvýšení tuhosti součásti.

**Stříhání** je nejrozšířenější operací v lisovnách i v kovárnách. Při lisování se stříhání používá nejen na výrobu hotových součástí, ale i na přípravu polotovarů pro jiné technologie. V lisovnách při dělení plechů je tento proces nazýván plošné stříhání. Dochází zde k přípravě polotovarů ve formě pásů, které se stříhají z tabulí plechů, nebo k dělení svítků na pásy nebo tabule. Takto vytvořené polotovary jsou dále použity na výrobu součástí stříháním, ohýbáním, tažením nebo svařováním. Při použití stříhání v kovárnách se proces nazývá objemové stříhání, protože se polotovarem pro kování stává objemovým stříhem nadělená tyč různých průřezových tvarů. Z toho vyplývá, že v lisovnách i v kovárnách je nejméně jednou operací stříhání.

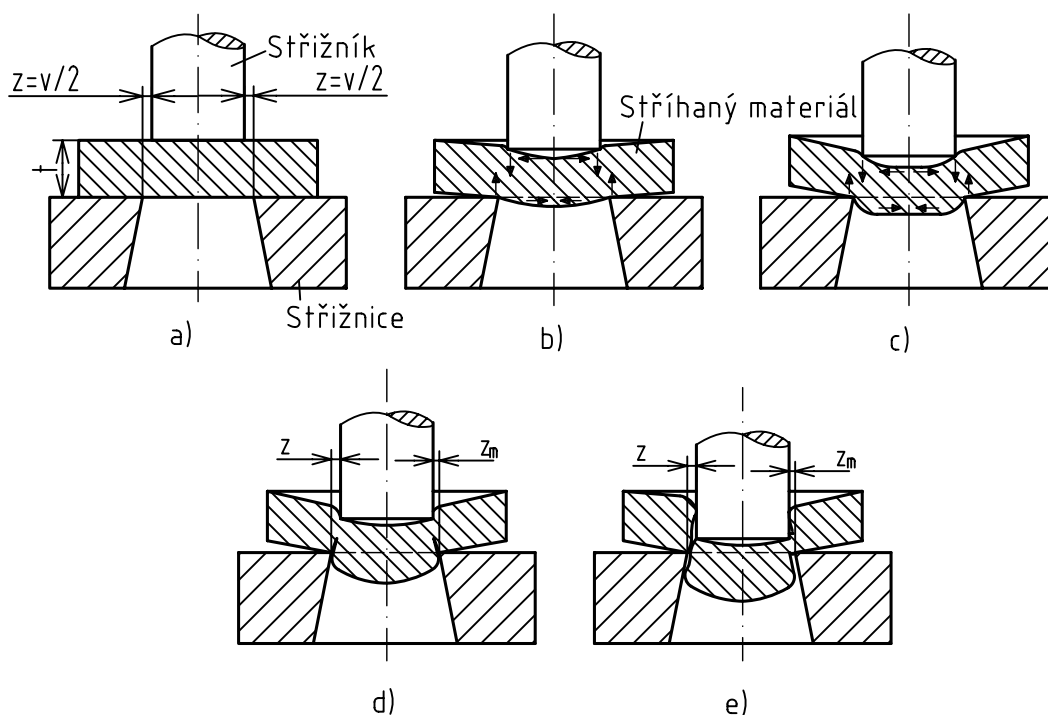
**Ohýbání** je jednou z technologií plošného tváření využívanou ve strojírenství. Většinou následuje po operaci stříhání, ve které se vyrobí polotovar. Ve většině případů se provádí za studena, jen výjimečně za tepla, a to u velkých průřezů materiálu s vyšší pevností. Výrobní proces je zhotoven pomocí ohýbacích nástrojů a strojů k ohýbání. Výrobek je zhotoven jedním nebo více ohyby.

#### 3.1. PROCES STŘÍHÁNÍ [8]

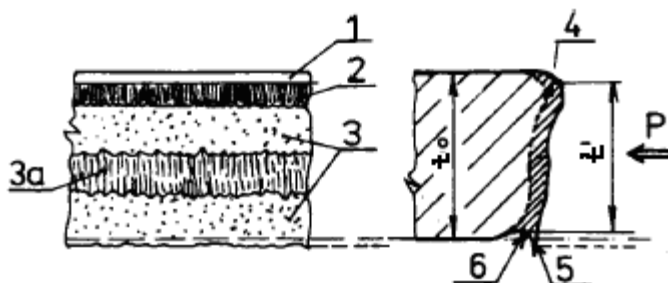
Stříhání je základní operací plošného tváření, která je zakončena porušením soudržnosti, tedy lomem v ohnisku deformace. Při stříhání dochází k nežádoucímu plastickému přetvoření, které vždy doprovází proces jako průvodní jev. Podle způsobu stříhání a zvolené technologie dochází k postupnému stříhání křivky nebo k současnému stříhání křivky podél celé střížné hrany tvořené střížnými noži. Břity a vůle střížného nástroje vytváří nutné smykové napětí, které je zapotřebí k proběhnutí procesu stříhání.

### 3.1.1. Průběh stříhání uzavřeného stříhu

Průběh stříhání uzavřeného obrysu mezi střížníkem a střížnicí s normální vůlí a s malou vůlí je zobrazen na obr. 3.1. V procesu stříhání se většinou vyskytují tři fáze, které jsou vidět na obr.3.2.



Obr. 3.1 Průběh stříhání [2]



Obr. 3.2 Vzhled střížné plochy při normální střížné vůli [8]  
1 - zeslabení, 2 - plastické přetvoření, 3 - pásmo lomu, 3a - pásmo otěru,  
4 - oblast zpevnění, 5 - otřep, 6 - vtisk dolního bříty

#### Oblasti střížné plochy z obr. 3.2

- Oblast 1: Pásmo pružné deformace vzniklé při vnikání střížníku do materiálu. Stříhaný plech je namáhán silou, která působí mezi obvodem střížníku a střížnice. Tím vznikají dvojice sil a dochází k ohýbání plechu. Hloubka vniku střížníku závisí hlavně na mechanických vlastnostech materiálu a její velikost je přibližně  $(5 \div 8) \% \cdot t$ .
- Oblast 2: Hladká a lesklá část střížné plochy je vytvořena plastickou deformací – plastickým stříhem, kde vzniklé napětí překročí mez kluzu. Hloubka stříhu je  $(10 \div 25) \% \cdot t$ .

Oblast 3, 3a: Pásmo lomu – probíhá samovolné oddělování stříhané části pod smykovým napětím (namáhání nad mez pevnosti). U hran polotovaru střížnice a střížníku vznikají trhliny (tzv. nástřihy), které se rychle šíří, až dojde k oddělení výstřížku od polotovaru.

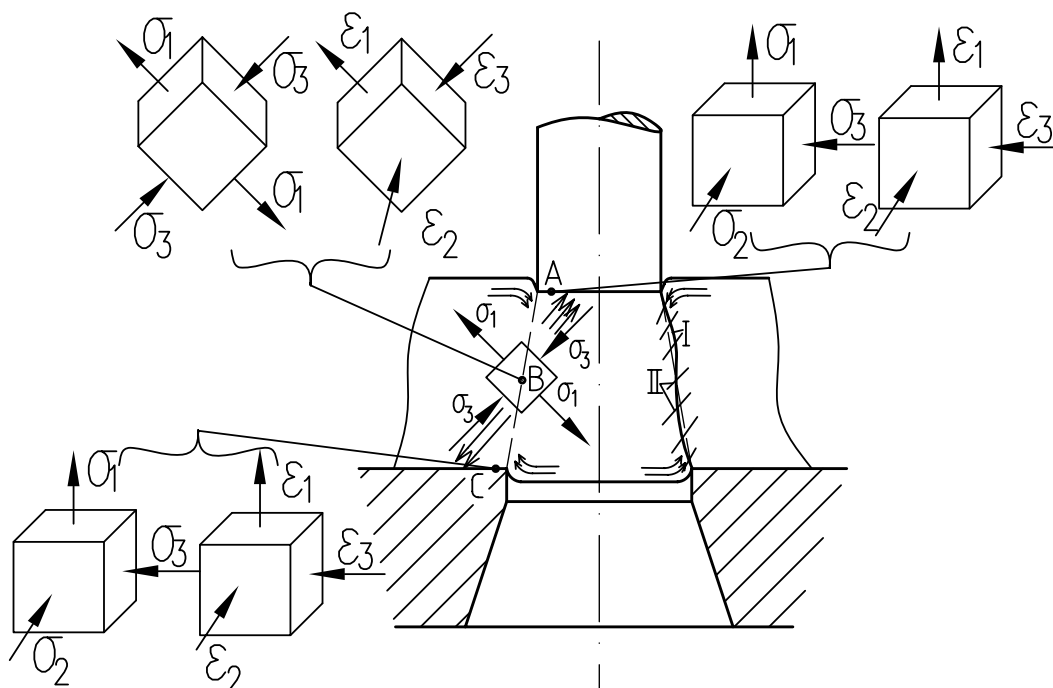
Oblast 1 a 2: Hloubka vniku střížné hrany nástroje.

### 3.1.2. Rozbor stavu napjatosti uzavřeného stříhání [2]

Stav napětí a deformace jsou zobrazeny pomocí mechanických schémat na obr. 3.3. V bodě A, který je přímo pod střížníkem, vzniká nestejnorodé prostorové napětí se dvěma tlakovými ( $\sigma_2, \sigma_3$ ) a jedním tahovým napětím ( $\sigma_1$ ). Pokud se jedná o tlustší plechy, dochází jen k plošnému napětí a  $\sigma_2 \cong 0$ . Ovšem příslušná deformace dosahuje též nestejnorodé prostorové deformace i v případě, že se jedná o plechy tlustší, protože u složky deviatoru napjatosti je střední napětí nenulové  $D_{\sigma_2} = \sigma_2 - \sigma_s$ . V bodě C, který leží přímo nad střížnicí, dochází ke stejným napětím i deformacím, a proto je zde nestejnorodý prostorový stav napětí i deformace. V bodě B, který je přímo uprostřed stříhaného materiálu, se nachází nestejnorodý prostorový stav napětí i deformace. Při stříhání dochází vlivem pohybu střížníku a střížnice k prodlužování a stlačování vláken a k rovnoměrnému ohýbání stříhaného materiálu. Tím i k natáčení vrstevnic, roviny smykového napětí  $\tau_{\max}$  a vzniká tzv. typická „S“ křivka. Pokud dochází ke stříhání bez vůle, je v bodě B splněna podmínka prostého smyku  $\sigma_1 = -\sigma_3 = \tau_{\max}$  a  $\sigma_2 = 0$ .

Vlivem vzniku plastických deformací se začíná měnit tvar polotovaru a musí se brát v úvahu přídatné napětí, které působí proti hlavnímu napětí, a zvyšuje tedy odpor při stříhání. Tento odpor se projeví i při stříhání čistým smykem nebo bez vůle a rovinný stav napjatosti se změní na prostorový stav napjatosti.

Na změnu napjatosti má vliv vůle mezi střížníkem a střížnicí, materiál a třecí síly.



Obr. 3.3 Deformace a napětí při uzavřeném stříhání s normální vůlí [2]  
I – směr hlavních normálních napětí, II – směr hlavních smykových napětí

### 3.1.3. Jakost střížné plochy [2]

Střížné plochy jsou nerovné a zkosené s určitou drsností a závisí zejména na těchto faktorech:

- velikosti střížné mezery,
- vlastnostech stříhaného materiálu,
- kvalitě a stavu střížného nástroje,
- způsobu stříhání, počtu zdvihů lisu.

Čím větší bude střížná vůle, tím větší nerovnost na střížné ploše vznikne. Materiál s větší tvrdostí má horší povrch stříhu než měkký materiál. Drsnost povrchu u střížných hran, které stříhají materiál do 1 mm, je  $R_a = 0,8$  až  $0,4 \mu\text{m}$ . Stříháme-li materiál tlustší, než je 1 mm, drsnost střížných hran je  $R_a = 3,2$  až  $1,6 \mu\text{m}$ .

I přes tyto ovlivňující činitele bylo zkouškami zjištěno, že dosahovaná drsnost střížné plochy u vystřihování  $R_a = 6,3$  až  $3,2 \mu\text{m}$  a u děrování  $R_a = 2,5$  až  $6,3 \mu\text{m}$ .

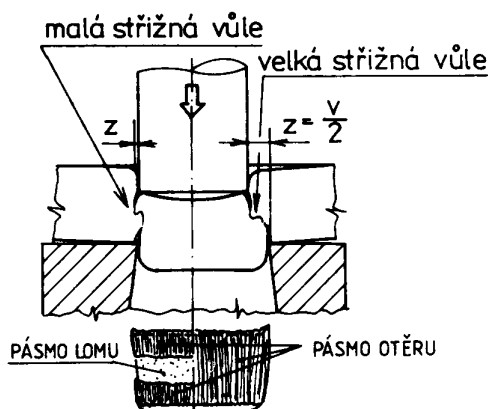
### 3.1.4. Střížná vůle a tolerance střížných nástrojů

#### Střížná vůle mezi střížníkem a střížnicí [4, 7]

Pokud je nástroj proti sobě správně ustaven, mezera podél stříhané křivky je stejná. To znamená, že střížná vůle  $v$  se uvádí jako dvojnásobek střížné mezery  $z$ , která je mezi střížníkem a střížnicí.

Správné stanovení střížné vůle má významný vliv na přesnost výstřížku a jakost střížné hrany součásti, na životnost nástroje a velikosti střížné síly, neboť přímo ovlivňuje směr smykového napětí, které způsobuje oddělení materiálu. Pokud je střížná vůle příliš velká, dochází k prodloužení dráhy, než dojde k propojení trhlin vzniklých od střížníku a střížnice. Může nastat i takový případ, že k propojení vůbec nedojde. Při příliš malé střížné vůli dojde k zaseknutí materiálu, protože smykové napětí působí kolmo na stříhaný materiál.

Pro běžnou praxi lze brát střížnou vůli přibližně 0,5 % tloušťky stříhaného materiálu.



Obr. 3.4 Střížná vůle [8]



Střížnou vůli lze stanovit mnoha způsoby různých diagramů v závislosti na tloušťce stříhaného materiálu s ohledem na jeho pevnost v tahu. Nebo ji lze vypočítat z empirických vztahů, které byly stanoveny dle zkušeností.

#### **Střížné vůle vyjádřené diagramem:**

- universální střížná vůle, viz příloha 1, tab. 1,
- lineární střížná vůle, viz příloha 1, tab. 2,
- progresivní střížná vůle, viz příloha 1, tab. 3 a 4.

#### **Střížná vůle stanovená výpočtem: [7]**

a) pro plechy o tloušťce do 3 mm

$$v = 2z \quad [\text{mm}]$$

$$z = c \cdot t \cdot 0,32 \cdot \sqrt{k_s} \quad [\text{mm}] \quad (3.1)$$

b) pro plechy o tloušťce větší než 3 mm

$$v = 2z \quad [\text{mm}]$$

$$z = (1,5 \cdot c \cdot t - 0,015) \cdot 0,32 \cdot \sqrt{k_s} \quad [\text{mm}] \quad (3.2)$$

kde  $c \dots (0,005 - 0,025)$  – koeficient závislý na stupni stříhu – viz příloha 2.

#### **Tolerance střížných nástrojů [2, 3]**

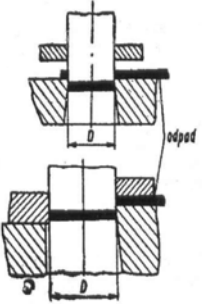
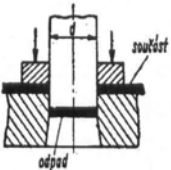
Při řešení rozměrů a tedy tolerancí činných částí nástroje se musí brát ohled na to, zda probíhá děrování (stříhání otvoru), nebo vystřihování (stříhání obvodu). Pokud dochází ke stříhání otvoru, směrodatný rozměr je jmenovitý rozměr střížníku s příslušnými tolerancemi a v souladu s ním je stanoven rozměr střížnice s příslušnými tolerancemi a s vůlí. Při stříhání obvodu je určujícím rozměrem jmenovitý rozměr střížnice s příslušnými tolerancemi a v souladu s ní je stanoven rozměr střížníku s příslušnou tolerancí a vůlí.

Při stříhání dochází k opotřebovávání střížných nástrojů, střížník se zmenšuje a střížnice se zvětšuje. Jedná-li se o děrování, větší vliv na opotřebení má střížník než střížnice a jedná-li se o vystřihování, větší vliv na rozměr výstřižku má střížnice a střížník má vliv menší. To znamená, že při konstrukci nástroje pro vystřihování se umísťuje větší část tolerance na střížnici, aby vznikla větší tolerance na opotřebení. U děrování je to naopak. Střížníku se přidá větší tolerance na opotřebení. Tímto se dosáhne největšího tolerančního pole pro výrobu rozměrově správných součástí.

Pokud se stříhá součást s přesností IT 8 až IT 9, tolerance na opotřebení je v celé velikosti příslušné tolerance. Je-li přesnost součásti IT 12 až IT 14, přídavek na opotřebení je 0,6 až 0,8 tolerance. Číselné hodnoty tolerancí jsou uvedeny v příloze 3. Střední hodnoty tolerancí menších a středně velkých výstřižků, vystřihovaných děr, vzdáleností mezi dírami a vzdáleností děr od okrajů jsou v příloze 4.

Vzorce pro stanovení rozměrů pracovních částí stříhadel jsou v tab. 3.1.

Grafická znázornění pro určení tolerančních polí funkčních částí stříhadla jsou zobrazena na obr. 3.5.

Schéma operace	Způsob předepsání tolerance výstřížku (otvoru)	Základní nástroj	Vzorce k stanovení rozměrů pracovních částí stříhadel	
			s přídavkem na opotřebení $P_0 = 0,8P_u$	s přídavkem na opotřebení $P_0 = P_u$
	$D - U_s$	střížnice	$D_s = (D - 0,8U_h)^{+p_s}$	$D_s = (D - U_s)^{+p_s}$
	$D - \frac{U_h}{-U_s}$		$D_s = (D - 0,2U_h - 0,8U_s)^{+p_s}$	$D_s = (D - U_s)^{+p_s}$
	$D + \frac{U_h}{+U_s}$		$D_s = (D + 0,2U_h + 0,8U_s)^{+p_s}$	$D_s = (D + U_s)^{+p_s}$
	$D + \frac{U_h}{-U_s}$		$D_s = (D + 0,2U_h - 0,8U_s)^{+p_s}$	$D_s = (D - U_s)^{+p_s}$
	$D \pm U$		$D_s = D^{+p}$	$D_s = D^{+p_s}$
	$d + U_h$	střížník	$d_k = (d + 0,8U_h) - p_k$	$d_k = (d + U_d) - p_k$
	$d + \frac{U_h}{-U_h}$		$d_k = d - 0,8U_s + 0,8U_h - p_k$	$d_k = (d + U_h) - p_k$
	$d \pm U$		$d_k = d - p_k$	$d_k = d - p_k$

Tab. 3.1 Vzorce pro stanovení rozměrů pracovních částí stříhadel [2]

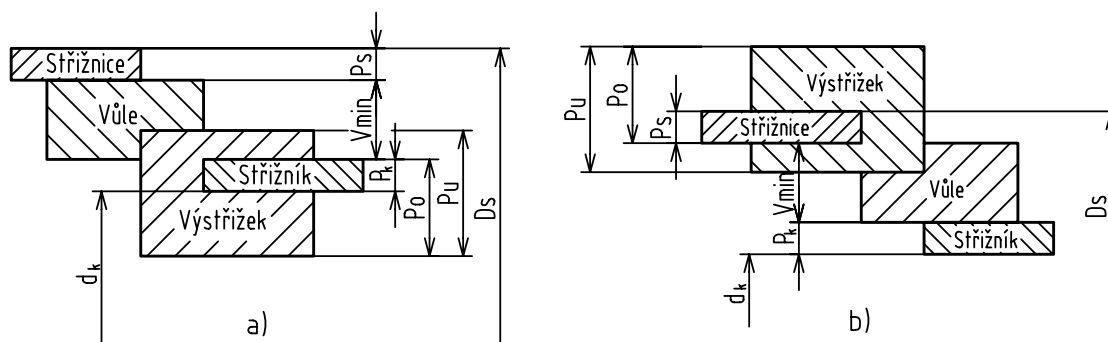
$D_s$ ...rozměr střížnice,  $d_k$ ...rozměr střížníku,

$D$ ...jmenovitý rozměr výstřížku,  $d$ ...jmenovitý rozměr otvoru,

$P_u$ ...tolerance výstřížku,  $P_0$ ...přídavek na opotřebení,

$U_h$ ...horní úchylka,  $U_s$ ...dolní úchylka,

$p_s$ ...přídavek na zhotovení střížnice,  $p_k$ ...přídavek na zhotovení střížníku



Obr. 3.5 Schematické znázornění tolerančních polí pro stříhání [3]:

a) obvodu (výstříhování)

b) otvoru (děrování)

Činitelé, kteří mají vliv na přesnost součásti:

a) materiálové:

- typ materiálu, rovnoměrnost rozložení mechanických vlastností
- velikost plastické oblasti

- velikost a rozložení plastické deformace ve zplastizované oblasti

b) konstrukční:

- tloušťka a přesnost rozměrů tvářeného polotovaru
- přesnost činných částí
- typ činných částí nástroje
- stav a stupeň opotřebení činných částí konstrukce nástroje a způsob středění polotovaru
- velikost pracovní vůle

Při tomto rozdělení je třeba konstatovat, že materiálové vlastnosti, ač jsou většinou předepsány konstruktérem součásti, se dají ovlivňovat i technologií tváření a konstrukcí tvářecích nástrojů. Proto je důležité, aby nástroj docílil vyrovnanosti plastické deformace polotovaru a výše zpevnění, neboť pak bude podíl pružných deformací relativně nízký. Konstrukční vlivy, vyplývající z technologie a realizované konstrukce nástroje, umožňují ovlivňovat rozměrovou přesnost a kvalitu tvářené plochy volbou geometrií činných částí, jejich kvalitou a rozměrovou přesností.

Při běžném stříhání v jednoduchých nástrojích lze dosáhnout rozměrové přesnosti IT 12 až IT 14. Nástroje se zvýšenou přesností, to znamená nástroje s vodíci stojánky nebo s přidržovači, dosahují přesností IT 8 až IT 9 a ve speciálních nástrojích pro přesné stříhání IT 6 až IT 8.

Hodnota dosažitelné přesnosti dále závisí na velikosti stříhané součásti.

Základní výrobní tolerance IT vystřihovaného výrobku	8 – 9	10	11	12	13	14	15
Základní výrobní tolerance IT střížníku a střížnice	5 – 6	6 – 7	7 – 8	8 – 9	10	11	12

Tab. 3.2 Závislost přesnosti vystřihovaného výrobku na přesnosti nástroje [2]

### 3.1.5. Přípustné výšky jehel na výstřižcích [7]

Otřep neboli jehla je převis materiálu, který vzniká při každém postupu stříhání a nachází se na spodní části stříhu podél celé součásti. Otřep vzniká i nástrojem, který je nový nebo právě naostřen, ale v menší míře. Při opotřebenosti nástroje se otřep zvětšuje až do přípustné meze, poté se musí naostřit. Za přípustnou mez lze označit takovou výšku jehly, kterou lze odstranit omíláním, broušením apod.

Výška jehel je závislá na:

- velikosti střížné vůle
- jakosti stříhaného materiálu
- tloušťce stříhaného plechu
- stavu stříhadla

To znamená, že u materiálu s menší pevností dochází k větším otřepům než u materiálu s větší pevností.

Za otřep lze považovat výstupek na střížné hraně, který je ve směru stříhu. Vzniká u vystřihování součásti střížníky, které netvoří uzavřenou křivku tvaru součásti. To znamená, že v místě vzniku otřepu nedojde k dokonalému propojení střížné hrany dvou sousedních střížníků. Takový druh stříhu se nachází na hranách, které nejsou funkční pro danou součást. A pro eliminaci otřepu se na střížnicích vytvoří výstupky, které zajistí tzv. zástříhy. Nevznikne ostrý otřep a není-li to nutné, díly takto vystřižené jsou zcela hotovy, aniž by se musely omílat nebo brousit. Zástříhy dále chrání obsluhu před poraněním.

### 3.1.6. Technologické a konstrukční výpočty

Technologické a konstrukční výpočty jsou potřebné k určení jmenovité síly lisu, který zabezpečí výrobu, rozměrové velikosti pracovního prostoru a dalších potřebných parametrů, jako je využití materiálu.

#### Využití materiálu tabule plechu

Rozměr polotovaru:

**P t x B – L**

Plech tloušťky  $t$ , šířky  $B$  a délky  $L$ .

Krok:

$$k = g + e \quad (3.3)$$

kde  $g$  ... je šířka součásti v [mm]

Šířka pásu:

$$b = h + f \quad (3.4)$$

kde  $h$  ... je rozměr součásti v [mm]

Počet pásů z tabule plechu:

$$q = \frac{B}{b} \text{ [ks]} \quad (3.5)$$

Počet výstřížků z jednoho pásu:

$$y = \frac{L - e}{k} \text{ [ks]} \quad (3.6)$$

Celkový počet výstřížků z tabule plechu:

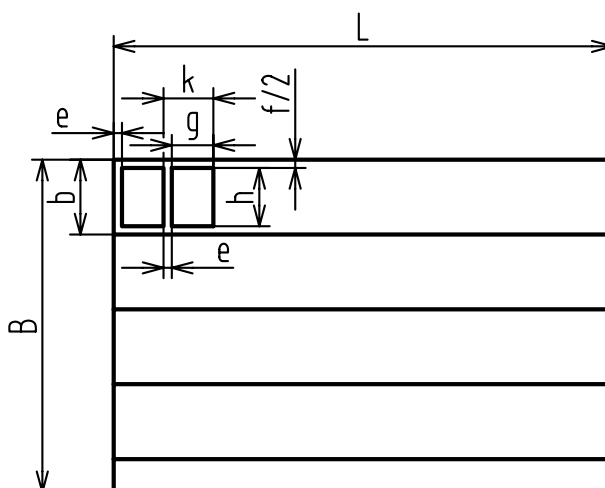
$$n = y \cdot b \text{ [ks]} \quad (3.7)$$

Využití materiálu tabule plechu:

$$k_n = \frac{n \cdot S_v}{S_p} \cdot 100 \text{ [%]} \quad (3.8)$$

$S_v$ ...plocha výstřížku [mm<sup>2</sup>]

$S_p$ ...plocha polotovaru [mm<sup>2</sup>]



Obr. 3.6 Rozmístění na tabuli plechu

$$S_p = L \cdot B \left[ mm^2 \right]$$

## **Využití materiálu svitku plechu**

Výpočty pro svitek plechu jsou shodné s výpočty pro tabuli plechu, až na určité výjimky, které se musí svitku přizpůsobit.

Délka svitku  $L$  se vztáhne na určitou délku, např. rozměr délky tabule plechu a šířka svitku je dána již jedním pásem o rozměru  $b$ .

Krok  $k$  a šířka pásu (svitku)  $b$  se vypočte podle stejných vzorců jako tabule plechu.

Počet výstřižků z jednoho pásu o určité délce  $L$ :

$$n = \frac{L - e}{k} \quad [ks] \quad (3.9)$$

Využití materiálu svitku plechu:

$$k_n = \frac{n \cdot S_v}{S_p} \cdot 100 [\%] \quad (3.10)$$

$S_v$ ...plocha výstřižku  $[mm^2]$

$S_p$ ...plocha polotovaru  $[mm^2]$

$$S_p = L \cdot b \left[ mm^2 \right]$$

## **Střížný odpor [2, 7]**

Vyjadřuje snahu materiálu odolat silám působícím při stříhání. Průměrné hodnoty pro výpočet střížného odporu pro různé materiály jsou uvedeny v příloze 5.

Střížný odpor je ovlivněn řadou činitelů:

- mechanickými vlastnostmi stříhaného materiálu – střížný odpor je tím menší, čím je vyšší tvárnost materiálu ( $A$  – tažnost,  $Z$  – kontrakce, zúžení) a nižší pevnost materiálu ( $R_m$ ),
- tloušťkou materiálu – se zvětšující se tloušťkou materiálu dochází ke snížení střížného odporu vlivem větší tvárnosti materiálu a menšího zpevnění,
- tvarem a rozměry křivky stříhu – kruhový tvar výstřižku má vhodnější odpor proti stříhání než tvarový výstřižek, protože u tvarového výstřižku nedochází k rovnoměrnému rozložení napětí podél stříhu. Čím větší tvar stříháme, tím menší vzniká odpor stříhu.
- velikostí střížné vůle – čím menší je střížná síla, tím se zvětšuje třecí síla a zvyšuje se střížný odpor. Nejvhodnější je použít optimální střížnou vůli, která má na střížný odpor nejvhodnější vliv.
- konstrukcí stříhadla – nižšího střížného odporu dosáhneme, když střížnice má otvor kuželovitý, a ne s fazetkou, protože výstřižky mohou samovolně propadávat. Střížník a střížnici ovlivňuje velikost vůle, která způsobuje určitou velikost tlaku na střížné hrany a tím určuje dobu trvanlivosti nástroje.
- podmínkami při stříhání – mezi podmínky stříhání patří především velikost třecích sil, které lze ovlivnit mazáním při procesu nebo velikostí střížné vůle.

Koeficient tření na boku výstřížku je  $\mu_1 = 0,18$  až  $0,3$  v případě, že je proces bez mazání. Střížné podmínky jsou dále ovlivněny rychlostí stříhu a stavů střížníku a střížnice.

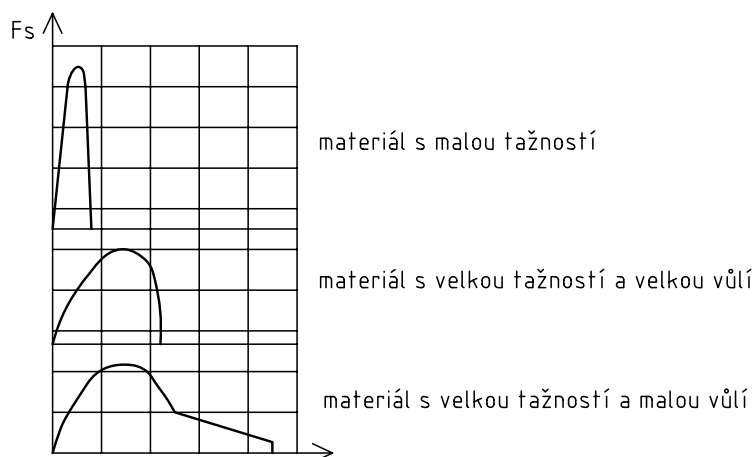
Pro stanovení střížného odporu je možno využít vztahu:

$$k_s = (0,75 \div 0,9) \cdot R_m \quad [\text{MPa}] \quad (3.11)$$

### **Střížná síla [7]**

$$F_s = O \cdot t \cdot k_s \cdot n = O \cdot t \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot n \quad [\text{N}] \quad (3.12)$$

kde  $n$  ... opravný koeficient zahrnující  
otupení ( $1,2 \div 1,55$ )



**Obr. 3.7 Průběh střížných sil v závislosti na tažnosti materiálu [3]**

Pokud je třeba z nějakého důvodu snížit střížnou sílu, upraví se střížníky nebo střížnice zkosením nebo jiným tvarem. Je též možno odstupňovat výšky střížníků.

Takto upravené střížníky nebo střížnice sníží střížnou sílu o 30 až 60 %. Pro určení střížné síly lze použít jednoduchý přibližný vztah ve tvaru:

$$F_s = S \cdot k_s \cdot k \quad [\text{N}] \quad (3.13)$$

kde  $k$  ... je koeficient pro délku stříhu do  $O = 200$  mm v tab. 3.3

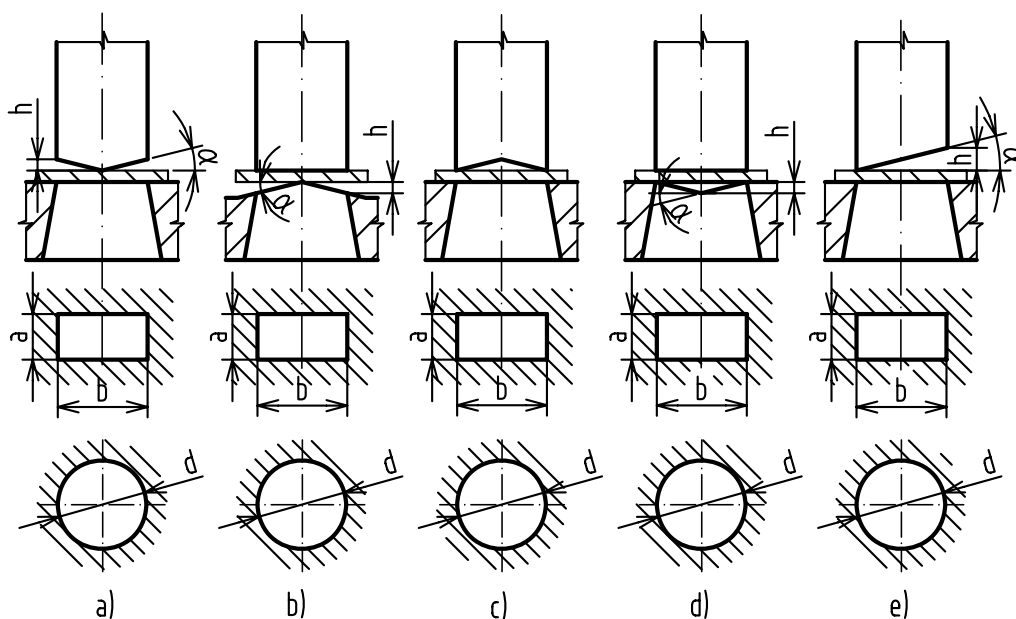
Tloušťka materiálu $t$ [mm]	Hloubka zkosení $h$ [mm]	Úhel zkosení $\alpha$ [°]	Koeficient $k$ [-]
$\leq 3$	$2 \cdot t$	$\leq 5$	$0,2 \div 0,4$
$> 3 \div 8$	$t$	$\leq 8$	$0,4 \div 0,6$

**Tab. 3.3 Koeficient  $k$  pro délku stříhu do 200 mm**

Střížnou sílu pro různé uspořádání lze stanovit z následujících vztahů uvedených v tab. 3.4:

Pravouhlé výstřižky dvoustranné zkosení	$h > t$	$F_s = 2 \cdot t \cdot k_s \cdot \left( a + \frac{0,5 \cdot t \cdot b}{h} \right) \quad [\text{N}]$	obr. 3.7 a), b), c), d)	(3.14)
	$h = t$	$F_s = 2 \cdot t \cdot k_s \cdot (a + 0,5 \cdot b) \quad [\text{N}]$		(3.15)
Pravouhlé výstřižky jednostranné zkosení	$h > t$	$F_s = 2 \cdot t \cdot k_s \cdot \left( a + \frac{t \cdot b}{h} \right) \quad [\text{N}]$	obr. 3.7 e)	(3.16)
	$h = t$	$F_s = 2 \cdot t \cdot k_s \cdot (a + b) \quad [\text{N}]$		(3.17)
Kruhovité výstřižky	$h = t$	$F_s = 0,66 \cdot \pi \cdot d \cdot t \cdot k_s \quad [\text{N}]$	obr. 3.7 a), b), c), d), e)	(3.18)

Tab. 3.4 Vzorce pro výpočet  $F_s$  se zkosenými střížníky nebo střížnicemi [2]



Obr. 3.8 Uspořádání upravených střížných hran pro stanovení sil [2]

### **Střížná práce [7]**

Střížnou práci lze stanovit dle následujícího vztahu:

$$A = \frac{k \cdot F_s \cdot t}{1000} \quad [\text{J}] \quad (3.19)$$

kde  $k$ ...je koeficient závislý na druhu a tloušťce materiálu dle přílohy 6.

### **Síla potřebná k setření materiálu ze střížníku [7]**

Po vystřížení ulpí děrovaný materiál vlivem pružné deformace na střížníku a k jeho setření je třeba určitě síly  $F_u$ . Vztah lze stanovit dle empirického vztahu:

$$F_u = k_{eu} \cdot F_s \quad [N] \quad (3.20)$$

kde  $k_{eu}$  ... je koeficient dle druhu materiálu, stříhadla a tloušťky plechu – příloha 7.

### **Síla potřebná k vysunutí výstřížku ze střížnice [7]**

Vztah podle empirického vztahu ve tvaru:

$$F_v = k_{ev} \cdot F_s \cdot n \quad [N] \quad (3.21)$$

kde  $k_{ev}$  ... je koeficient dle druhu materiálu, stříhadla a tloušťky plechu – příloha 7,

$n$  ... je počet výstřížků v neodlehčené části stříhadla

Obě tyto síly jsou závislé na:

- druhu materiálu,
- tvaru a rozměrech křivky stříhu,
- tloušťce plechu,
- střížné vůli,
- druhu mazání.

### **Kontrolní výpočet střížníků na tlak [10]**

Při stříhání dochází k velkým přenosům tlaků ze střížníků na upínací desku. Proto se počítá u menších průměrů střížníků výpočet na tlak, kterým se zjistí, zda je třeba do konstrukce nástroje zahrnout kalenou opěrnou desku. Tato deska většinou s tloušťkou 4 mm se umístí v lokálním místě nad střížníkem nebo má rozměr upínací desky. Tlak lze tedy vypočítat dle následujícího vzorce:

$$R_{mDOV} = \frac{F_s}{S} \quad [MPa] \quad (3.22)$$

kde  $F_s$  ... je střížná síla daného střížníku [N]  
 $S$  ... je průmět plochy střížníku [mm<sup>2</sup>]

Pokud tlak vyjde u oceli pro danou střížnou sílu a střížnou plochu větší než 180 MPa, je třeba umístit kalenou opěrnou desku.

### **Kontrolní výpočty střížníků na vzpěr [9]**

Jestliže je v nástroji umístěn střížník s malým průřezem a velkou délkou, je nebezpečí, že by při stříhání mohlo dojít k jeho zlomení. Proto se tyto střížníky kontrolují na vzpěr podle Eulerových vztahů, z kterých se vypočte nejmenší možná délka střížníku v závislosti na střížné síle, tak aby se střížník nezlomil.



**Pro nevedený střižník (jednostranné vetknutí) obecného tvaru je vztah následující:**

$$F_{KR} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{l_0^2} [\text{N}] \quad (3.23)$$

redukovaná délka prutu je:  $l_0 = \frac{l}{\sqrt{2}} [\text{mm}]$ . (3.24)

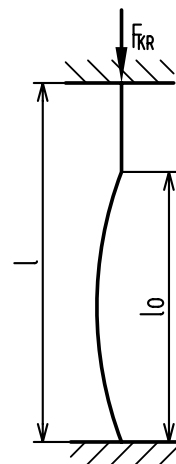
Kritickou sílu pro střižníky lze stanovit ze střižné síly jako:

$$F_{KR} = F_S \cdot n [\text{N}] \quad (3.25)$$

kde  $n$  ...koeficient bezpečnosti [-], pro ocel je  $n = 1,5 \div 2$   
 $F_S$  ... je střižná síla jednotlivých střižníků

Po dosazení rovnic 3.25 a 3.24 do 3.23 dostaneme následující vzorec pro určení maximální délky střižníku:

$$l_{KR} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{F_S \cdot n}} [\text{mm}] \quad (3.26)$$



**Obr. 3.9 Schéma uložení [9]**

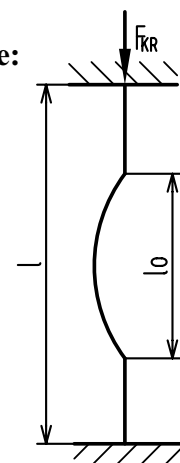
**Pro vedený střižník (oboustranné vetknutí) – vedení ve vodící desce:**

Kritické síly se vypočtou jako u nevedeného střižníku a mění se

redukovaná délka prutu, která má hodnotu:  $l_0 = \frac{l}{2} [\text{mm}]$ . (3.27)

Po opětovém dosazení s redukovanou délkou podle vzorce 3.23 dostaneme následující vzorec pro maximální délku střižníku:

$$l_{KR} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{F_S \cdot n}} [\text{mm}]. \quad (3.28)$$



**Obr. 3.10 Schéma uložení**

Modul setrvačnosti: pro kruhový průřez je:  $I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} [\text{mm}^4] \quad (3.29)$

pro obdélníkový průřez:  $I = \frac{b \cdot a^3}{12} [\text{mm}^4] \quad (3.30)$

pro čtvercový průřez:  $I = \frac{a^4}{12} [\text{mm}^4] \quad (3.31)$

### 3.1.7. Funkční části nástroje [3]

#### Střižnice

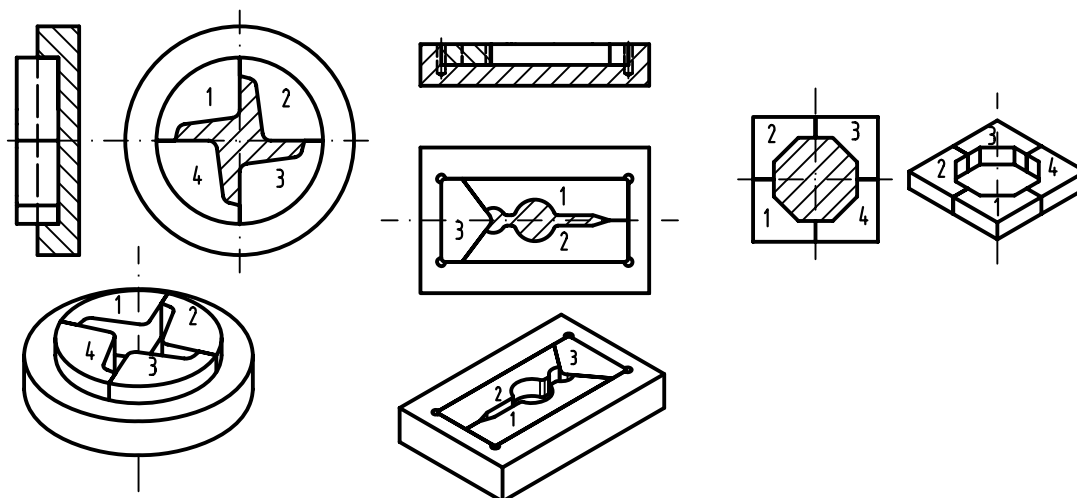
Je jedna z činných částí střižného nástroje, která je upevněna na dolní části nástroje, kterou je většinou přímo základová deska. Upnutí se může provést mnoha způsoby, tak aby to vyhovovalo charakteru výroby nebo zvyklostem podniku.

**Celistvé** – používají se pro jednoduché tvary, střižnice jsou v provedení kruhovém nebo pravoúhlém a jejich upevnění k základové desce se realizuje různými způsoby:

- středícími elementy a šrouby přímo na základovou desku
- zalisováním do ocelového rámu
- zapuštěním do základové desky a upevnění šrouby, klíny atd.

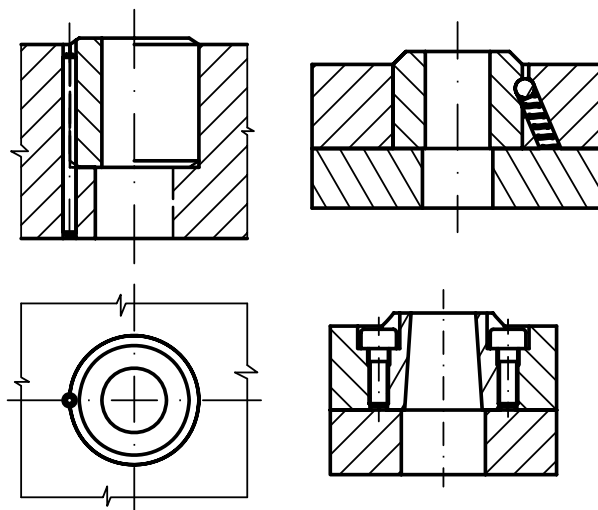
Podle způsobu použití a složitosti jsou kalené nebo nekalené. U více krokových střižnic se musí brát ohled na umístění střižných a upínacích otvorů, aby střižnice nebyla nikde extrémně zeslabena. Tímto se zamezí možnému ovlivnění sousedních otvorů při stříhání a vzniku velkého pnutí a prasklin při tepelném zpracování.

**Dělené (skládané)** – jestliže požadovaný tvar součásti je složitý, velký nebo se skládá z více operací, střižnice se rozdělí na vhodné úseky, které se nalisují do měkké nekalené střižnice nebo se připevní šrouby a kolíky přímo na základovou desku. Vhodné rozdělení na jednotlivé elementy je výhodné jak z hlediska výroby, tak z tepelného zpracování. A dodatečné zpřesnění rozměrů je možno jednoduše provést broušením. Ukázky dělených střižnic jsou na obr. 3.11.



Obr. 3.11 Střižnice dělené [10]

**Vložkované** – se využívají hlavně pro úsporu drahého nástrojového materiálu, kterým nemusí být jen nástrojová ocel třídy 19, ale i karbidy. Karbidové vložky se vyznačují velkou odolností proti otěru, pevností v tlaku, rozměrovou stálostí a mnohem vyšší životností než u nástrojů z nástrojové oceli. U nástroje využívajícího karbidové vložky musíme zajistit vysokou tuhost a pevnost stroje a správné vedení, aby nedocházelo k namáhání na ohyb. Jak základová deska, tak upínací deska se zhotovuje asi o 50 % silnější než u nástrojů s vložkami z nástrojové oceli. Vložka u střižnic je většinou zhotovena jako válcová s vnitřním požadovaným otvorem a pak je do střižnice upevněna různými způsoby. Některé druhy upnutí jsou vyobrazeny na obr. 3.12. Takto zhotovené střižnice jsou výhodné z hlediska oprav, protože se vymění jen vložka.



Obr. 3.12 Příklady upnutí střížných vložek u vložkových střížnic [10]

Kritériem pro zvolení vhodného provedení střížnic je velikost a složitost tvaru výstřížku, velikost série, druh nástroje, druh stříhaného materiálu aj.

**Provedení střížných otvorů ve střížnici** je závislé na druhu a tloušťce stříhaného materiálu a na velikosti stříhaného otvoru.

Rozeznáváme čtyři základní provedení:

- a) **s fazetkou** obr. 3.13 a) – velikost střížného otvoru do hloubky  $h$  a poté úkos  $\alpha = 3$  až  $5^\circ$ . Hloubka fazetky je závislá na tloušťce materiálu, přibližné hodnoty jsou uvedeny v tab. 3.5. Takto upravený otvor ve střížnici se využívá pro stříhání většího počtu kusů.

Tloušťka $t$ [mm]	Fazetka $h$ [mm]
do 0,5	$3 \div 5$
do 5	$5 \div 10$
do 10	$10 \div 15$

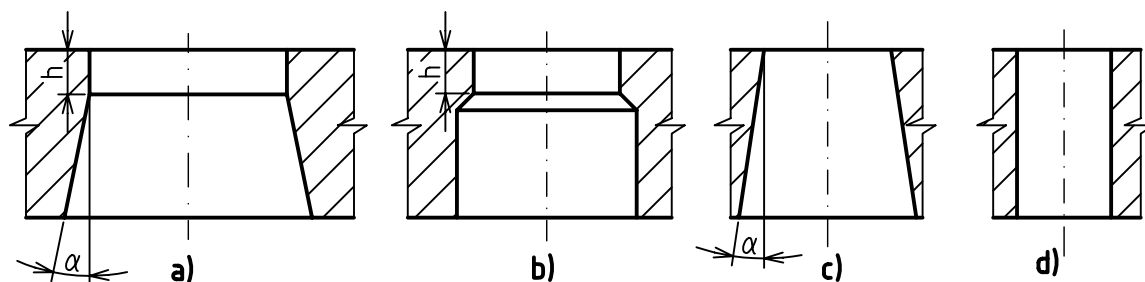
Tab. 3.5 Hloubka fazetky

- b) **válcový vybraný** obr. 3.13 b), který má přibližně stejný tvar jako v provedení a) bez úkosů a s menší hloubkou  $h$ . Použití u děrování s průměrem  $d > 5$  mm u tenkých plechů.
- c) otvor ve střížnici tvořen **úkosem** obr. 3.13 c), jehož velikost je závislá na tloušťce materiálu, tab. 3.6. Nejčastější provedení z hlediska jednoduchosti výroby. Použití při výrobě středního počtu kusů, vystřihování menších částí se střední přesností.

Tloušťka stříhaného materiálu $t$ [mm]	Úkos $\alpha$ [°]
$0,1 \div 0,5$	$10' \div 15'$
$0,5 \div 1,0$	$15' \div 20'$
$1,0 \div 2,0$	$20' \div 30'$
$2,0 \div 4,0$	$30' \div 40'$
$4,0 \div 6,0$	$40' \div 60'$
více jak 6,0	$1^\circ \div 2^\circ$

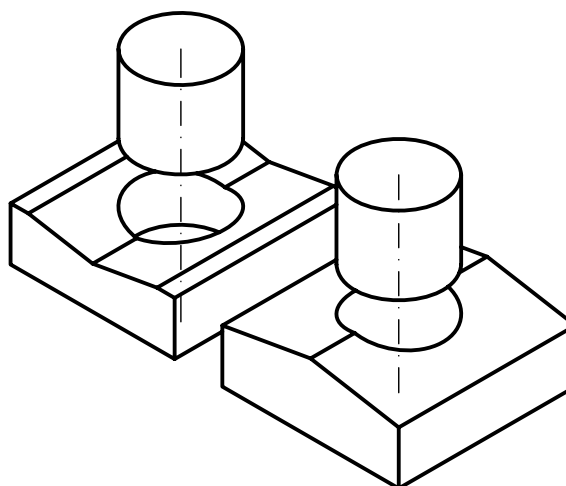
Tab. 3.6 Úkosity ve střížnici

- d) **válcový tvar** obr. 3.13 d), který se používá u velkých nástrojů, sloučených nástrojů nebo u nástrojů, které využívají vyhazovače (součást nepropadává nástrojem pryč, ale vrací se zpět do roviny začátku stříhu).



Obr. 3.13 Geometrie střížných otvorů [11]

Střížnice se vyrábějí zpravidla kolmé ke směru stříhu. Pokud je ale třeba snížit střížnou sílu, provádí se úprava vhodným zkosením. Některé příklady jsou uvedeny na obr. 3.14.

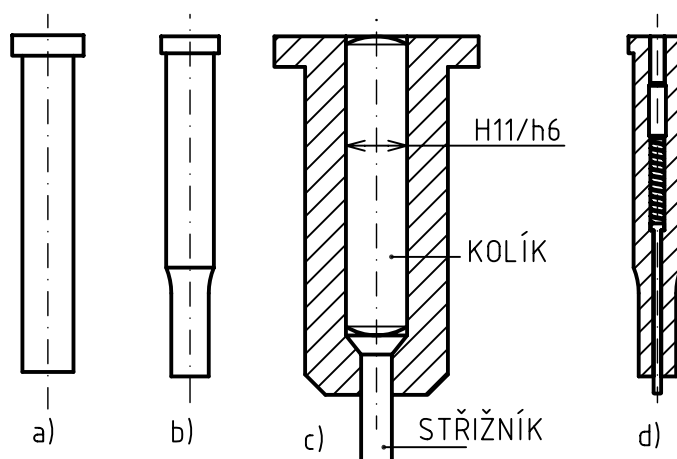


Obr. 3.14 Úpravy střížnic [10]

## Střížníky

Z hlediska vedení se dělí střížníky na:

- nevedené (obr. 3.15 a, b)
- vedené (obr. 3.15 c)
- zesílené



Obr. 3.15 Druhy střížníků [10, 11]

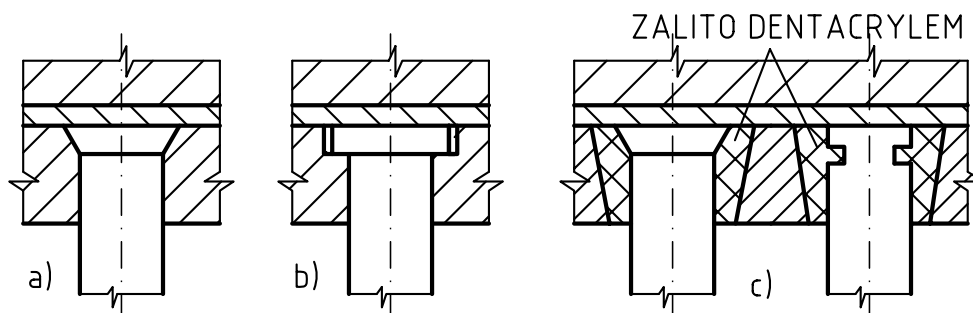
Střížníky větších průměrů, rozměrů a tvarové střížníky se konstruuji jako **nevedené**, protože vyhovují podmínce vzpěru a nedochází tedy k namáhání ohybem. Střížníky větších rozměrů je možno konstruovat jako dělené (podobně jako dělené střížnice), kde horní část se vyrobí z konstrukční oceli a střížná část je z nástrojové oceli nebo z karbidů. Spojení obou částí je realizováno šroubem s vnitřním šestihranem a středění je zajištěno válcovým osazením (případně zajištění proti pootočení kolíky).

Střížníky, které mají zajistit prostřížení otvorů malých průměrů ( $d < 5 \text{ mm}$ ) nebo otvorů tvrdších materiálů, musí být vedené. To zajistí, že střížník nebude namáhán na vzpěr a bude schopen prostříhnout otvory menších průměrů, aniž dojde k jeho porušení.

Na obr. 3.15 d) je vyobrazen střížník s odtlačovacím kolíkem, který zajistí, aby vystřížený materiál neulpíval na střížníku vlivem plastické deformace a nánosu maziva.

Kotvení neboli uchycení střížníků v kotevní desce je velmi různorodé a je závislé na druhu materiálu, složitosti tvaru, na konstrukci, na způsobu výroby a zvyklostech podniku. Ukotvení má zajistit, aby střížník nebyl vysunut z kotevní desky vlivem stahovací síly při zpětném chodu nástroje. Stahovací síla dosahuje maximálně 20 % střížné síly.

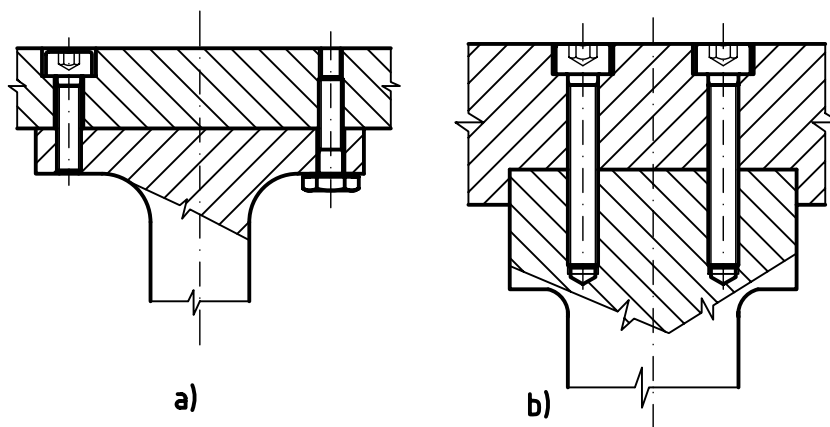
Jak u střížnic, tak u střížníků existuje mnoho způsobu ukotvení. Nejznámější z nich je roznýtování horní části do kotevní desky. Takto vytvořený střížník je zakalen na 60 HRC a v kotevní části v délce 10 až 15 mm je popuštěn na 40 HRC. Další způsob je vytvoření válcového osazení, které se zalisuje do kotevní desky. Příklady jsou uvedeny na obr. 3.16 a), b).



Obr. 3.16 Ukotvení střížníků [10, 11]

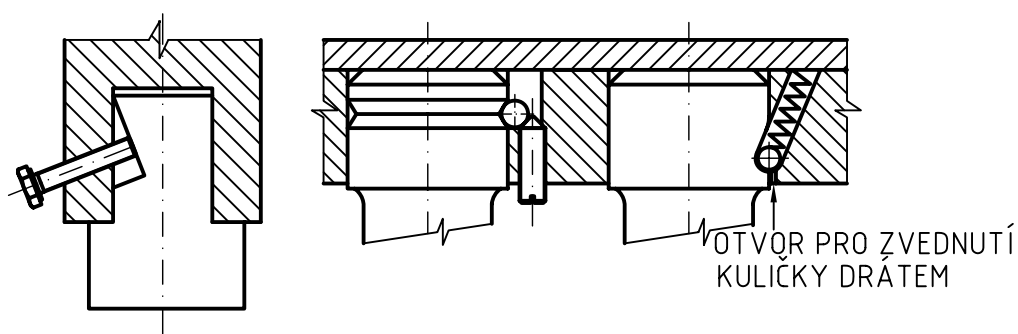
Aby kotevní deska neobsahovala upínací otvory složitých tvarů, kotvení se provede zalitím pryskyřicí. Otvor v desce má zpravidla jednoduchý kuželový otvor, který není složitý na výrobu obr. 3.16 c).

Střížníky větších rozměrů se přišroubují za přírubu do kotevní desky nebo se ještě do kotevní desky částečně zapustí, tak jak je zobrazeno na obr. 3.17.



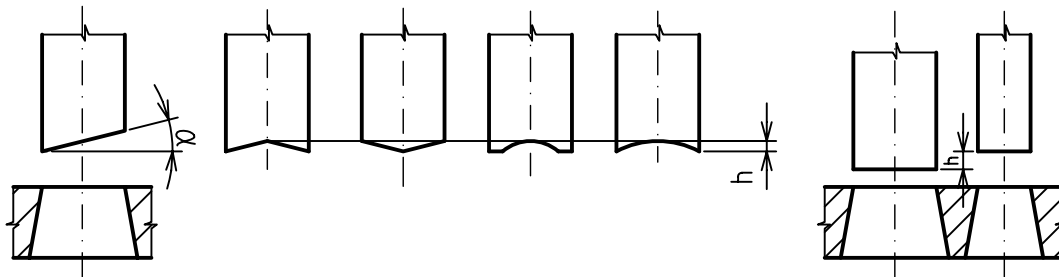
Obr. 3.17 Upnutí větších střížníků [10, 11]

Dále je možno zkonstruovat střížníky, které se upínají rychloupínacím systémem a využívají se pro rychlé vyměnění střížníku při poškození, otupení nebo je-li třeba střížník vyřadit z provozu obr. 3.18.



Obr. 3.18 Rychloupínací střížníky [10, 11]

Tak jako u střížnic je možno střížnou sílu snížit vhodnou úpravou střížné hrany nebo odstupňováním výšky střížníků. Příklady úpravy jsou na obr. 3.19.



Obr. 3.19 Úpravy střížníků [10]

### 3.1.8. Materiály funkčních částí [2, 9, 14]

Materiál střížnic je obvykle nástrojová ocel třídy 19. Určení konkrétní oceli je závislé na druhu použití, to znamená na druhu polotovaru, jeho tloušťce, pevnosti a potřebné dosažitelné přesnosti.

Nelegované	19 132, 19 152, 19 191, 19 221
Nízko- a středně-legované	19 312, 19 314, 19 315, 19 421, 19 422, 19 452, 19 550, 19 559, 19 569, 19 571, 19 581, 19 663, 19 665, 19 711, 19 732, 19 733, 19 735
Vysokolegované	19 436, 19 437, 19 438, 19 572, 19 573, 19 574, 19 901, 19 902
Rychlořezné	19 802, 19 810, 19 813, 19 820, 19 829, 19 830, 19 851

Tab. 3.7 Oceli doporučované na nástroje [14]

#### Konkrétní určení některých ocelí:

**19 152** – ocel s 0,8 % C, vhodná ke kalení do vody z teplot 750 až 780 °C, popouštění za teplot 100 až 250 °C. Malá prokalitelnost, dobrá obrobiteľnosť. Dosahovaná tvrdost 65 HRC.

**19 191** – ocel s 1,0 % C, tvrdost 66 HRC, kalení do vody z teploty 740 až 760 °C a z 770 až 800 °C do oleje, popouštění při teplotě 100 až 150 °C. Malá prokalitelnost, dobrá obrobiteľnosť.

Použití: pro tvarově jednoduché, méně namáhané nástroje, pro plechy menších tloušťek.

**19 436** – vysokolegovaná chromová ocel s 2 % C a 12 % Cr, kalení do oleje z 960 °C nebo na vzduchu.

Z 960 °C se kalí na primární pevnost a případně 1030 °C na sekundární pevnost. Teplota popouštění je 180 až 250 °C. Tvrdost po zušlechťení 63 HRC. Velká prokalitelnost a odolnost proti opotřebení, nižší houževnatost, dobrá obrobiteľnosť.

Použití: patří mezi nejpoužívanější nástrojovou ocel pro střížné nástroje na lisech. Pro tvrdé a pevné materiály.

**19 573** – patří mezi nejpoužívanější ledeburitické chromové oceli, které mají podobné složení jako 19 436, ale mají snížený obsah uhlíku na 1,5 %, obsah molybdenu a zvýšený obsah vanadu. Porovnáním s 19 436 má větší houževnatost a odolnost proti opotřebení.

**19 824** – rychlořezná wolframová ocel pro běžné výkony s vyšší houževnatostí, dobrou odolností proti popouštění a nižší odolností proti opotřebení, ztížená obrobiteľnosť po žíhání. Chemické složení: 0,75 % C, 4,2 % Cr, 18 % W, 1,3 % V. Tvrdost asi 64 HRC. Kalení do oleje z 1300 °C a do vody z 1260 °C. Teplota popouštění 570 až 590 °C.

Použití: nástroje s velkou životností pro materiály malých tloušťek (do 2 mm).

**19 830** – rychlořezná molybdenwolframová ocel s 0,85 % C, 4,2 % Cr, 6,3 % W, 5 % Mo, 1,9 % V. Kaleno z 1220 až 1250 °C do oleje nebo solné lázně (500 až 600 °C) a popouštěno z 550 až 560 °C. Vysoká houževnatost a odolnost proti popouštění a opotřebení.

Použití: Pro nástroje vyžadující velkou životnost (děrování, stříhání na lisech). Pro malé tloušťky materiálu (do 2 mm) s velkou pevností a tvrdostí. Použití u velkých sérií.

Všechny tyto nástrojové oceli je možno použít na celé střížníky a střížnice, ale pokud chceme ušetřit drahou nástrojovou ocel, jsou využity jako vložky. Střížník nebo střížnice se vyrobí z levnější nástrojové nebo konstrukční oceli a tyto vložky se na střížník nebo střížnici přišroubují nebo se připevní jiným způsobem. Do střížnic se většinou nalisují. Toto opatření je též z důvodu poškození střížníku nebo střížnice, kdy se vymění jen poškozená část.

Materiálem vložek nemusí být jen nástrojová ocel, ale i slinuté karbidy většinou řady G, které jsou na bázi WC a jsou tedy houževnaté. Nejvhodnější karbidy mají obsah Co od 7 % (čím větší procento Co, tím je houževnatost větší). Slinuté karbidy se vyznačují vysokou odolností proti otěru, která je několikrát větší než u nástrojových ocelí. Mají vysokou pevnost v tlaku, ale ne v ohybu, proto při použití SK (slinutých karbidů) musí být dostatečně tuhý nástroj i stroj. Většinou jsou všechny desky o polovinu tlustší, než je třeba u desek z nástrojových ocelí.

### 3.1.9. Stroje a zařízení ke stříhání [19]

#### LISY

Jsou stroje, které se nejčastěji používají pro tvarové stříhání součástí. Lze je rozdělit podle různých hledisek. Pro stříhání se využívají nejvíce mechanické lisy a hydraulické lisy. Na zvolení vhodnosti lisu závisí mnoho parametrů, které hlavně záleží na vyráběné součásti a na strojním parku podniku.

#### Mechanické

Jsou to nejpoužívanější tvářecí stroje, které jsou vhodné pro různé tvářecí operace. Mají velkou výrobnost a jsou konstrukčně jednoduché. I když nevýhodou je, že maximální tvářecí sílu lze odebrat až těsně před dolní úvratí. Mechanický lis může být zatížen takovou silou, která nepřesáhne jmenovitou sílu daného lisu. Pokud by tento případ nastal, dojde k zastavení lisu vlivem různých pojistek, aby se zamezilo přetížení lisu. Mechanické lisy hojně využívají klikového mechanismu pro přenos energie.

Nejpoužívanější z mechanických lisů jsou výstředníkové lisy, které se hlavně využívají pro operace zpracovávající plech. Energie se kumuluje v setrvačniku, který je roztáčen elektromotorem. Zdvih je možno měnit pomocí výstředníkového mechanismu. Tím se zajistí určitá přestavitelnost beranu a hlavně bezpečnost práce, protože se zdvih nastaví podle potřeb používaného nástroje. Různé druhy dosahují 40 až 400 zdvihů za minutu.

#### Hydraulické

Jsou stroje využívající k vytvoření tlaku vlastností kapalin (Pascalův zákon). Je možno je též použít pro stříhání v nástrojích. Mají menší výrobnost oproti mechanickým lisům, i když rychlost pohybu beranu lze libovolně nastavit podle potřeb v rozmezí  $v = 0 \div 0,25 \text{ [m} \cdot \text{s}^{-1}]$ . Maximální sílu je možno odebrat v jakémkoliv místě zdvihu. Nevýhodou je jejich složitější konstrukce, údržba, vyšší pořizovací náklady.



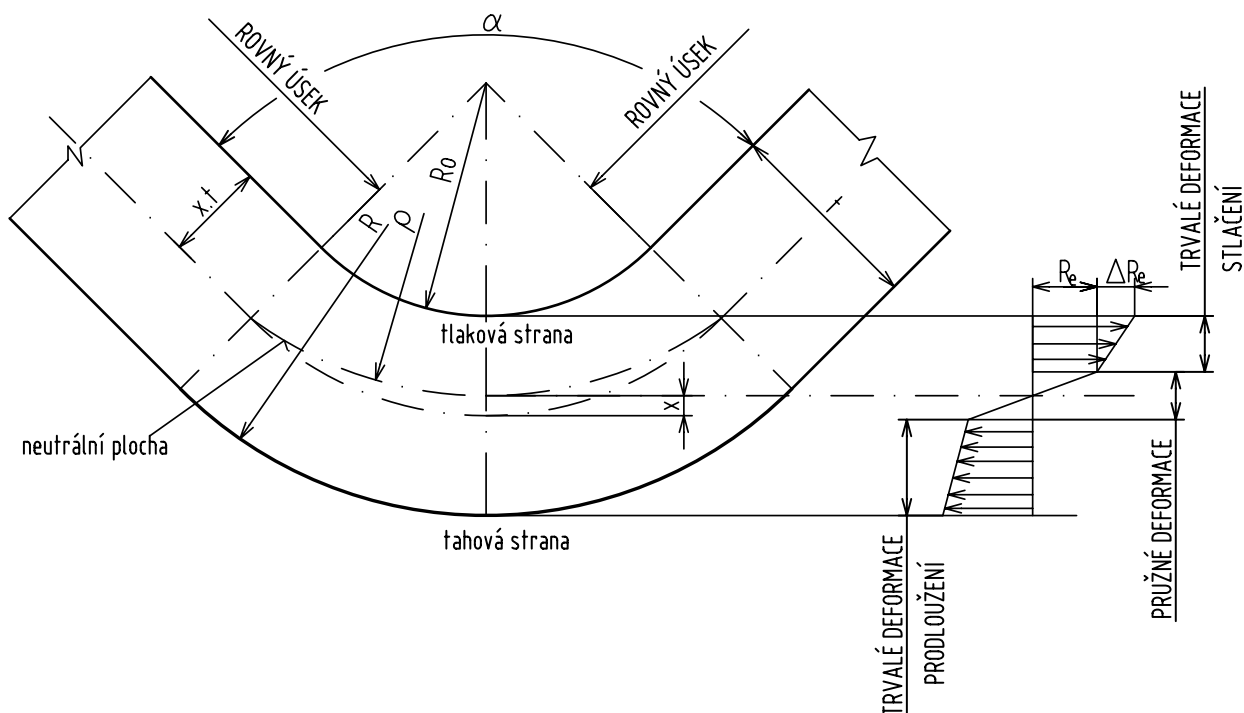
### 3.2. PROCES OHÝBÁNÍ

Ohýbání je proces plošného tváření, při kterém dochází k trvalým změnám křivosti součástí různých tvarů a profilů. Nejčastějším polotovarem je však plech.

Trvalá změna polotovaru vzniká vlivem působení ohybového momentu od ohybové síly. Tímto působením se součást ohýbá nebo naopak rovná. Při ohybu dochází k pružně-plastické deformaci materiálu. Velikost deformace při ohýbání je závislá na kvalitě materiálu, jeho tloušťce v místě ohybu, na vzájemné orientaci vláken a směru čáry ohybu a na velikosti ohybových momentů.

Při ohýbání dochází ke zmenšování poloměru zakřivení až na minimální hodnotu  $R_{\min}$ . Po překročení této hodnoty dojde k porušení materiálu zpravidla na vnější straně ohybu. A proto nejvýznamnější napětí při ohybu jsou tahová, která nesmějí překročit mez pevnosti v tahu. Pokud poloměr zakřivení zvětšujeme, dochází k tzv. procesu rovnání.

Při změně tvaru plochy vzniká v materiálu tzv. neutrální plocha, která rozděluje průběh napětí na tlakové a tahové. Tahové vzniká na vnější straně ohybu a tlaková na vnitřní straně ohybu. Vlivem změny průběhu napětí vzniká v ohýbaném dílci přetvoření v příčném průřezu, pokud se jedná o ohýbání úzkých tyčí. Při ohýbání širokých pásů je přetvoření v příčném průřezu zanedbatelné, protože změna délky vláken v podélném směru se kompenzuje výhradně změnou jeho tloušťky ve směru kolmém. [6]

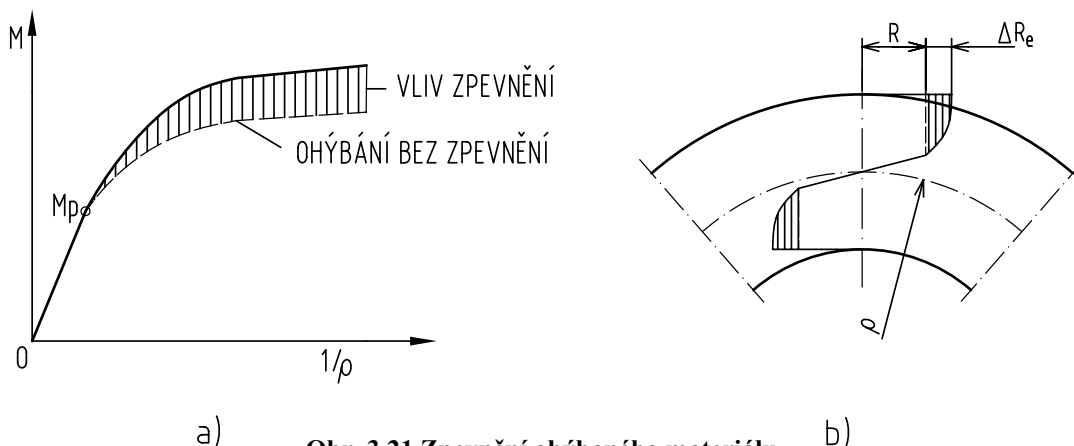


Obr. 3.20 Schéma ohýbání [4]

Pokud  $b < 3 \cdot t$ , jedná se o ohýbání úzkých polotovarů (tyčí), a je-li  $b > 3 \cdot t$ , jde o ohýbání širokých pásů, kde  $b$  [mm] je šířka polotovaru a  $t$  [mm] je tloušťka.

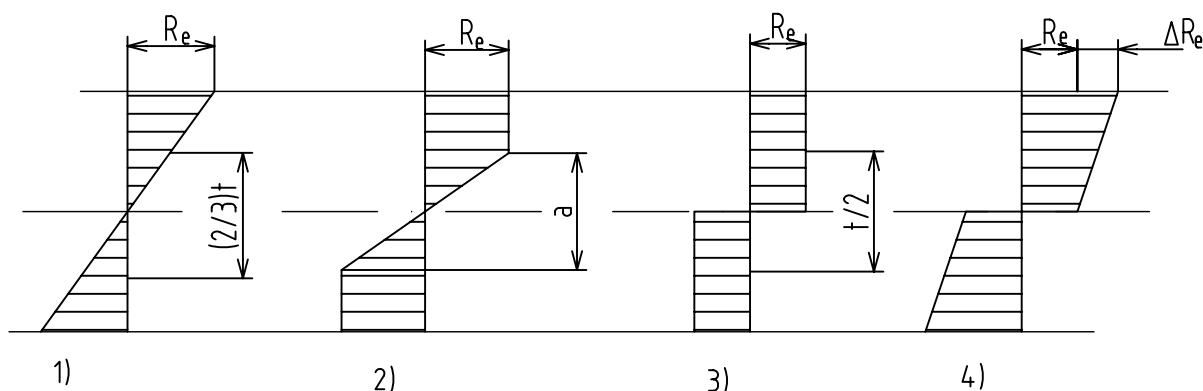
### 3.2.1. Ohýbání širokých pásů [6,8]

Při ohýbání vzniká deformace, která současně způsobuje nárůst meze kluzu  $R_e$ . Největší napětí vzniká v krajních vláknech a tím dochází ke zvyšování odporu proti ohnutí. Přírůstek deformačního odporu zároveň zvyšuje ohybový moment.



Obr. 3.21 Zpevnění ohýbaného materiálu  
a) průběh napětí, b) průběh ohybového momentu [2,8]

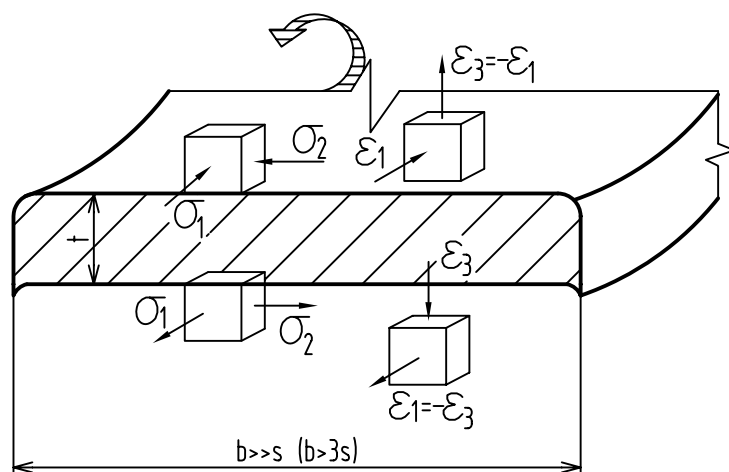
Pokud ohýbáme a napětí nepřekročí  $R_e$ , tak dochází k pružné deformaci a napětí v průřezu je charakterizováno závislostí Hookova zákona (lineární část). Po dalším zatížení ohybovým momentem překročíme  $R_e$  ve vnějších vláknech a nastane plastická deformace. Uvnitř průřezu materiálu se nachází pásmo  $a$ , ve kterém doposud ohybové napětí nepřekročilo napětí  $R_e$ . Ale čím se ohybový moment zvyšuje, tím se oblast  $a$  zmenšuje, až dosáhne nuly a pružné jádro zanikne. V tomto okamžiku se již napětí nemění. Pokud se počítá při ohýbání se zpevněním, napětí se ještě zvětší o hodnotu  $\Delta R_e$ .



Obr. 3.22 Deformační charakteristika ohýbané součásti [2,8]

### 3.2.2. Rozbor stavu napjatosti a přetvoření [6,8]

Při ohýbání širokých pásů je přetvoření v celé šířce ztíženo a uprostřed pásu k němu nedochází, takže nastává rovinný stav přetvoření, kde  $\varepsilon_2 = 0$  a  $\varepsilon_1 = -\varepsilon_3$ . A pro zamezení zúžení pásu je kromě osového napětí  $\sigma_1$  dále přídavné napětí  $\sigma_2$ , které působí ve směru šířky. V krajních vláknech nastává rovinný stav napjatosti.

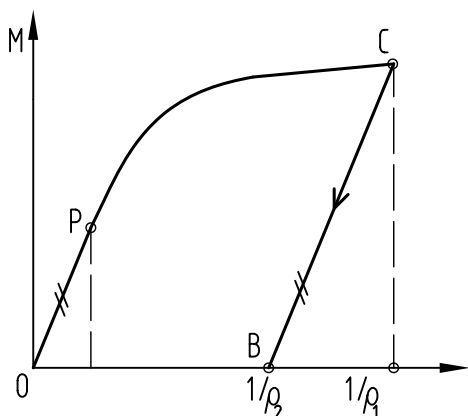


Obr. 3.23 Schéma napjatosti a přetvoření při ohýbání širokých pásů [6]

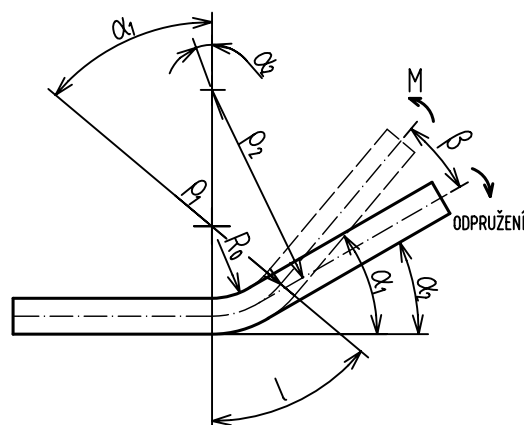
### 3.2.3. Odpružení při ohybu

Po ukončení ohýbání, tzn. po odlehčení vznikne odpružení ohnutých ramen vlivem pružné deformace obr. 3.25 a 3.26.

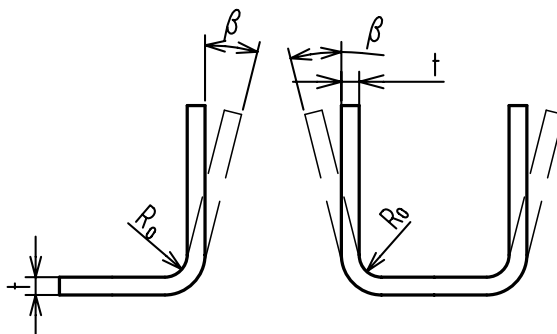
Je tedy zřejmé, že na přesnost vytvořeného ohybu má největší vliv odpružení, které se musí vylíminovat. Na zmenšení nebo na úplné odstranění má vliv konstrukce ohýbadel, jejichž příklady jsou uvedeny na obr. 3.27.



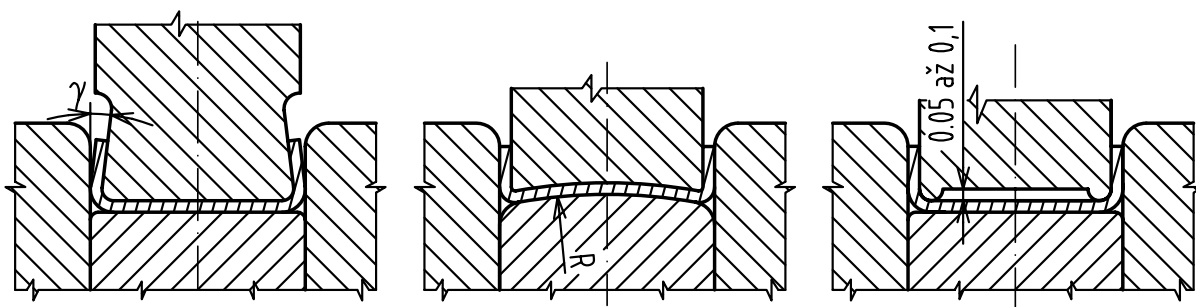
Obr. 3.24 Vztah mezi ohybovým momentem a zakřivením s vlivem odpružení [6,8]



Obr. 3.25 Schéma odpružení po ohybu [6,8]



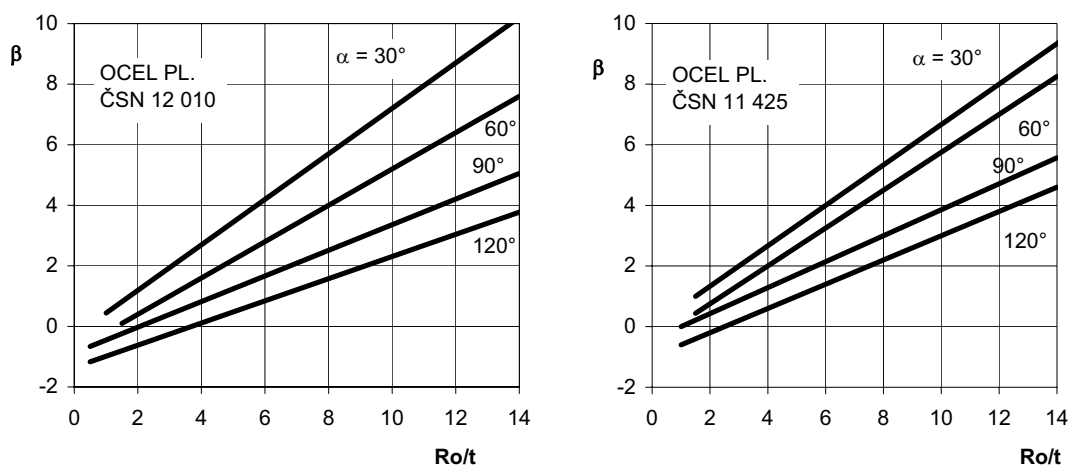
Obr. 3.26 Schéma odpružení po ohybu do tvaru V a U



Obr. 3.27 Příklady eliminace odpružení [10,15]

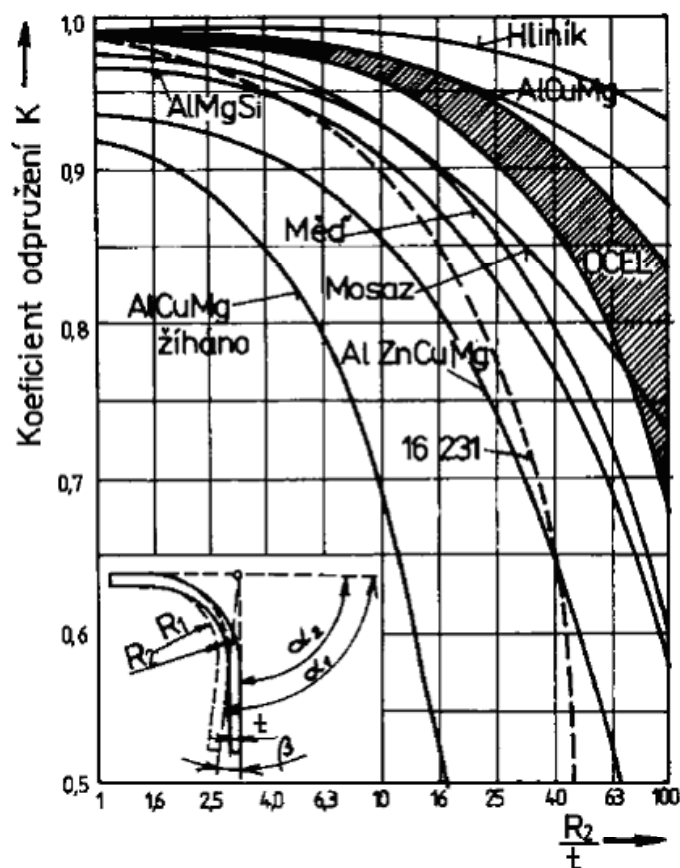
Velikost odpružení je závislá na mechanických vlastnostech ohýbaného materiálu, tloušťce, poměru poloměru ohybu a tloušťky materiálu a velikosti úhlu ohybu.

Odpružení a jeho velikost lze určit mnoha způsoby. Například jsou vytvořeny diagramy pro určité materiály a různé úhly ohybu obr. 3.28 nebo dle jiných diagramů obr. 3.29, kde se odpružení pro daný materiál stanoví v závislosti na koeficientu.



Obr. 3.28 Odpružení pro různé úhly ohybu a vybrané ploché oceli [5]

$$K = \frac{\alpha_2}{\alpha_1} = \frac{R_1 + 0,5 \cdot t}{R_2 + 0,5 \cdot t} \quad [-] \quad (3.32)$$



Obr. 3.29 Diagram koeficientů odpružení [8]

V obou případech jsou diagramy sestaveny z podkladů praktických zkoušek.

Přibližně stanovit velikost odpružení lze výpočtem. Při ohýbání nastávají dva základní ohyby do tvaru „V“ a do tvaru „U“ a můžeme použít tyto dva vztahy [5]:

$$\text{a) ohyb do tvaru V} \quad \operatorname{tg} \beta = 0,375 \cdot \frac{1}{k \cdot t} \cdot \frac{R_e}{E} \quad [-] \Rightarrow \beta \quad [^\circ] \quad (3.33)$$

$$\text{b) ohyb do tvaru U} \quad \operatorname{tg} \beta = 0,75 \cdot \frac{l_m}{k \cdot t} \cdot \frac{R_e}{E} \quad [-] \Rightarrow \beta \quad [^\circ] \quad (3.34)$$

$\beta$ ...je jednostranný úhel odpružení

$$l_m = r_m + R_o + 1,2 \cdot t \quad [\text{mm}] \quad \text{viz obr. 3.29} \quad (3.35)$$

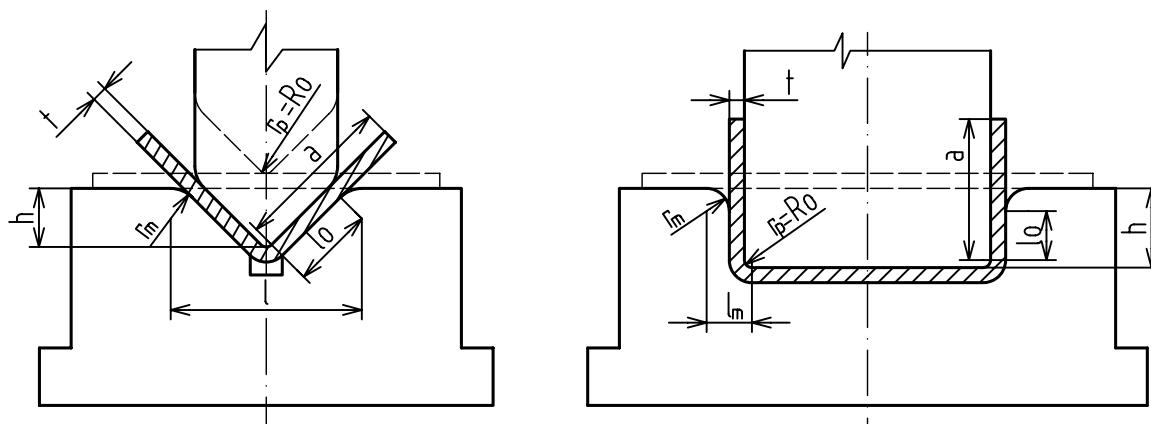
$k$ ...součinitel určující polohu neutrální osy v závislosti na poměru  $R_0/t$

$R_0/t$	0,1	0,25	0,5	1	2	3	4	5	6	8	10	15	20
$k$	0,68	0,65	0,62	0,58	0,54	0,53	0,52	0,52	0,52	0,51	0,51	0,5	0,5

Tab. 3.8 Součinitel  $k$  pro výpočet úhlu odpružení [5]

$$\text{Tento koeficient je možno stanovit dle vztahu: } k = 1 - x \quad [-] \quad (3.36)$$

kde  $x$ ...je posunutí neutrální osy z tab. 3.10 v závislosti na poměru  $R_0/t$ .



Obr. 3.30 Schéma k ohybu do V a U [11]

### 3.2.4. Přesnost a jakost při ohýbání [2]

Přesnost ohýbaných součástí, které vznikají v ohýbadlech, je závislá na mnoha činitelích:

- na rozměrech ohýbaného výlisku,
- na stejnorodosti mechanických vlastností polotovaru,
- na toleranci tloušťky výchozího polotovaru,
- na počtu operací, v kterých je ohyb proveden,
- na konstrukci ohýbadla a jeho přesnosti,
- zda je zařazena operace kalibrování,
- na přesnosti ustavení nástroje na tvářecím stroji.

Jakost povrchu hotového dílce (výlisku) je závislá na:

- jakosti povrchu výchozího polotovaru,
- geometrickém provedení ohýbacího nástroje,
- velikosti mezery mezi ohybníkem a ohybnicí,
- toleranci polotovaru (nestejná tloušťka materiálu),
- způsobu mazání a druhu maziva,
- drsnosti povrchu činných částí (většinou je o jednu až dvě třídy nižší než u ohýbaného materiálu)

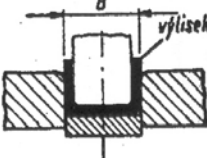
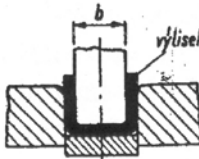
Součást na výkrese může být předepsána tolerancí, do které se při ohýbání daný nástroj musí vejít, aby nevyráběl nepřesné výlisky. Pro toto kritérium jsou stanoveny vzorce, které určí přesné rozměry čelistí ohybníku a ohybnice – tab. 3.9. Při ohýbání dochází k většímu opotřebení u pevné čelisti než u pohyblivé čelisti. Proto se u pevné čelisti volí větší přírůstek na optimální opotřebení, který je dán vztahem:

$$P_o = 0,8 \cdot P_u \quad [\text{mm}] \quad (3.37)$$

kde  $P_u$  ...odchylka ohýbaného tvaru

a u pohyblivých částí se optimální přírůstek volí dle vztahu:

$$P_o = 0,2 \cdot P_u \quad [\text{mm}] \quad (3.38)$$

Schéma operace	Způsob předepsání tolerance výlisku	Základní nástroj	Vzorce k stanovení rozměrů pracovních částí ohýbadel
			s přídatkem na opotřebení $P_o = 0,8P_u$
	$B - U_s$	Pevná čelist	$B_{\bar{c}} = (B - 0,8U_s)^{+p_c}$
	$B \begin{smallmatrix} -U_h \\ -U_s \end{smallmatrix}$		$B_{\bar{c}} = (B - 0,2U_h - 0,8U_s)^{+p_c}$
	$B \begin{smallmatrix} +U_h \\ +U_s \end{smallmatrix}$		$B_{\bar{c}} = (B + 0,2U_h + 0,8U_s)^{+p_c}$
	$B \begin{smallmatrix} +U_h \\ -U_s \end{smallmatrix}$		$B_{\bar{c}} = (B + 0,2U_h - 0,8U_s)^{+p_c}$
	$B \pm U$		$B_{\bar{c}} = B^{+p_c}$
			$P_o = 0,2P_u$
	$b + U_h$	Pohyblivá čelist	$b_{\bar{c}} = (b + 0,2U_h)_{-p_c}$
	$b \begin{smallmatrix} +U_h \\ +U_s \end{smallmatrix}$		$b_{\bar{c}} = (b + 0,2U_h + 0,8U_s)_{-p_c}$
	$b \begin{smallmatrix} +U_h \\ -U_s \end{smallmatrix}$		$b_{\bar{c}} = (b + 0,2U_h - 0,8U_s)_{-p_c}$
	$b \pm U$		$b_{\bar{c}} = b_{-p_c}$

Tab. 3.9 Vzorce ke stanovení rozměrů pracovních částí ohýbadel [2]

B...vnější jmenovitý rozměr výlisku, b...vnitřní jmenovitý rozměr výlisku,  
 $U_h$ ...horní úchylka,  $U_s$ ...spodní úchylka výlisku,  
 $p_c$ ...dovolená úchylka na zhotovení čelistí

### 3.2.5. Stanovení $R_{\min}$ a $R_{\max}$ [1]

#### Minimální poloměr ohybu $R_{\min}$

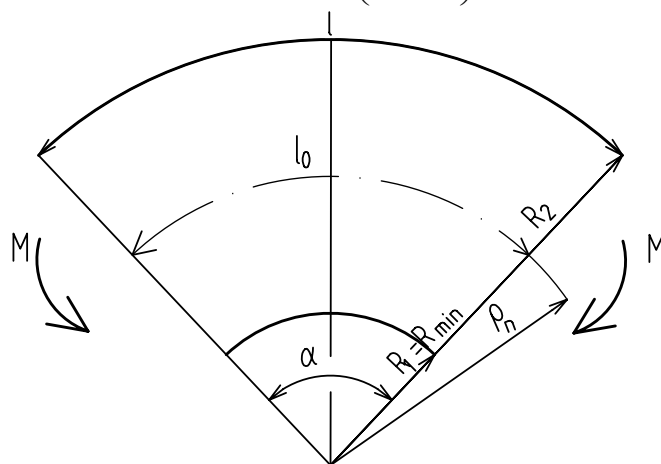
Materiál můžeme ohýbat až do doby, dokud tečné tahové napětí nedosáhne meze pevnosti v tahu  $R_m$ . Pokud tuto hodnotu překročíme, dojde na vnější tahové straně k porušení materiálu. Nejmenší využitelný poloměr se označuje jako  $R_{\min}$  a je závislý na různých vlastnostech materiálu, jako je plastičnost (materiál ve vyžíhaném nebo zpevněném stavu), na tloušťce a šířce ohýbaného materiálu, na jakosti povrchu, způsobu ohýbání, velikosti ohybu, na směru vláken a čáry ohybu (anizotropie). Pokud je čára ohybu ve směru vláken válcování, ohyb se dělá větší a nesmí dosáhnout  $R_{\min}$ , protože minimální poloměr je vztahován na polohu čáry ohybu, která je kolmá na směr válcování. Snahou při ohýbání je, aby ostřiny vzniklé při stříhání byly na vnitřní straně ohybu a tím vzniklé trhlinky budou stlačovány.

Početně lze minimální poloměr ohybu stanovit dle vzorce

$$R_{\min} = \frac{t}{2} \cdot \left( \frac{1}{\varepsilon_{t\max}} - 1 \right) = c \cdot t \quad [\text{mm}] \quad (3.39)$$

kde  $\varepsilon_{t\max}$ ...mezí prodloužení, tzn. prodloužení, při jehož překročení dojde k porušení ohýbaného materiálu (napětí přesáhne mez pevnosti v tahu  $R_m$ ).  $R_1 = R_{\min}$   
 $\varepsilon$ ...přetvoření v krajních vláknech, schéma pro výpočet je na obr. 3.31.  
 $c$ ...koeficient závislý na druhu materiálu z tab. 3.10

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{R_2 \cdot \alpha - \rho_n \cdot \alpha}{\rho_n \cdot \alpha} = \frac{(R_1 + t) - \left( R_1 + \frac{t}{2} \right)}{\left( R_1 + \frac{t}{2} \right)} = \frac{t}{2 \cdot R_1 + t} \Rightarrow \quad (3.40)$$



Obr. 3.31 Schéma deformace elementu při ohybu [8]

$$\varepsilon_{t\max} = \frac{t}{2 \cdot R_{\min} + t} \quad [-] \quad (3.41)$$

Materiál	Součinitel c [-]
Hliník	0,35
Měkká ocel	0,5 až 0,6
Měkká měď	0,25
Měkká mosaz	0,3 až 0,4

Tab. 3.10 Hodnoty součinitele c dle druhu materiálu

### Maximální poloměr ohybu $R_{\max}$

Maximální poloměr ohybu nastane v okamžiku, kdy v krajních vrstvách dojde k trvalé deformaci (překročení meze kluzu  $R_e$ ). Z Hookova zákona vyplývá vztah:

$$\varepsilon_{t\min} = \frac{R_e}{E} \quad [-] \quad (3.42)$$



Porovnáním rovnic (3.40), (3.42) a za předpokladu, že  $R_1 = R_{1 \max}$ , když  $\varepsilon = \varepsilon_{t \min}$ , je možno vyjádřit vztah pro maximální poloměr ohybu:

$$R_{1 \max} = \frac{t}{2} \left( \frac{E}{R_e} - 1 \right) \quad [\text{mm}] \quad (3.43)$$

### 3.2.6. Stanovení délky polotovaru [11]

Pro výpočet délky výchozího polotovaru je důležité zjištění polohy neutrální plochy, protože v místě změny tahového napětí na tlakové je vrstva bez napětí a tedy i bez deformace.

Podle velikosti poloměru ohybu rozlišujeme výpočet neutrální vrstvy:

- a)  $R_0 \geq 12 \cdot t$  předpokládáme, že poloha neutrální vrstvy je uprostřed tloušťky, a lze

$$\text{tedy vypočítat } \rho_n = R_0 + \frac{t}{2} \quad [\text{mm}] \quad (3.44)$$

- b)  $R_0 < 12 \cdot t$  vlivem působení napětí a deformace průřezu se neutrální plocha posouvá směrem ke stlačeným vláknům a plochu lze vypočíst ze vztahu

$$\rho_n = R_0 + x \cdot t \quad [\text{mm}] \quad (3.45)$$

kde  $x \dots$  je součinitel polohy neutrální plochy tab. 3.11 a jeho velikost je závislá na poměru  $R_0/t$ .

$R_0/t$	0,1	0,25	0,5	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0
$x$	0,32	0,35	0,38	0,42	0,455	0,47	0,475	0,478	0,48	0,484	0,486

Tab. 3.11 Hodnoty součinitele

**Délka ohnutého úseku** se vypočte tedy za pomoci součinitele  $x$ . Celková hodnota délky je dále závislá na úhlu ohybu, na poloměru ohybu a na tloušťce materiálu.

$$l_n = \frac{\pi \cdot \varphi}{180} \cdot (R_0 + x \cdot t) \quad [\text{mm}] \quad (3.46)$$

$\varphi \dots$  úhel ohnutého úseku, pokud je  $\alpha = 90^\circ$ , tak  $\varphi = \alpha$ ,

jinak  $\varphi = 180^\circ - \alpha$ , kde  $\alpha$  je sevřený úhel ramen ohnuté součásti  $\Rightarrow$  úhel ohybu.

Celková délka  $l_c$  polotovaru je součtem délek rovných úseků a délek ohnutých částí v neutrálních vrstvách.

### 3.2.7. Výpočet ohybové síly, práce a vůle [2,7]

Výpočty potřebné k určení orientačních sil a prací ke správnému určení ohýbacího stroje, aby nastalo dostatečné ohnutí bez přetížení stroje.

### **Ohybová síla do tvaru „V“**

Při ohýbání do tvaru  $V$  s minimálním poloměrem  $R_{\min} = (0,8 \div 3) \cdot t$  je možno použít vztah:

$$F_{OV} = \frac{R_m \cdot b \cdot t^2}{100 \cdot l} \quad [\text{kN}] \quad (3.47)$$

kde  $l$ ...šířka ohybnice (viz obr. 3.29) [mm]

$b$ ...šířka ohýbané součásti [mm]

Podle ČSN 22 7340 [15] je ohybová síla do tvaru  $V$  vyjádřena následujícím vztahem:

$$F_{OV} = \frac{R_e \cdot b \cdot t^2}{2 \cdot r_p} \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \quad [\text{N}] \quad (3.48)$$

S ohledem na rovnací a kalibrovací sílu a toleranční pole bude celková ohybová síla mnohem větší, proto se vypočtená ohybová síla zvětšuje asi dvakrát.

Celková ohybová síla je dána vztahem:  $F'_{OV} = 2 \cdot F_{OV}$  [N] (3.49)

### **Ohybová práce do tvaru V**

$$A_{OV} = m \cdot F_{OV} \cdot h = \frac{1}{6} \cdot F_{OV} \cdot l = \frac{1}{3} \cdot F'_{OV} \cdot l \quad [\text{J}] \quad (3.50)$$

$h = \frac{l}{2}$  ...hloubka dutiny ohybnice [mm]

$m = \frac{1}{3}$  ...koeficient zaplnění diagramu [-]

### **Ohybová síla do tvaru U**

Ohybovou sílu do tvaru  $U$  lze vypočítat ze vztahu:

$$F_{OU} = \frac{1}{2} \frac{R_m \cdot b \cdot t}{100} \quad [\text{kN}] = \frac{10 \cdot R_m \cdot b \cdot t}{2} \quad [\text{N}] \quad (3.51)$$

Nebo se opět může využít vztahu dle normy ČSN 22 7340 [15], který je v následujícím tvaru:

$$F_{OU} = (1 + 7 \cdot \mu) \frac{R_e \cdot b \cdot t^2}{r_p + t} \quad [\text{N}] \quad (3.52)$$

### **Přidržovací síla**

$$F_p = 0,25 \cdot F_{OU} \quad [\text{N}] \quad (3.53)$$

### **Ohybová práce do tvaru „U“**

Práce, kde je zahrnuta síla od přidržovače:

$$A_{OU} = m \cdot (F_{OU} + F_p) \cdot h \quad [\text{J}] \quad (3.54)$$

### h ... hloubka ohybu [mm]

## Vůle mezi ohybníkem a ohybnicí

Stanovení vůle mezi ohybníkem a ohybnicí je závislé na druhu ohybu, to znamená zda ohýbáme do tvaru  $V$ , nebo  $U$ .

Při ohýbání do tvaru  $V$  je dána vůle mezi ohybníkem a ohybnicí tloušťkou materiálu, která se vymezení seřízením lisu.

Při ohýbání do tvaru  $U$  závisí vůle na tloušťce a toleranci tloušťky a na délce ramene ohýbané součásti. Vůle se stanoví:

$$v = (t \div t_{\max}) + c \cdot t \quad [\text{mm}] \quad (3.55)$$

v ... vůle mezi ohybníkem a ohybnicí na jedné straně [mm]

c ... součinitel vyjadřující vliv tření ohýbané součásti

o ohybnici s ohledem na délku ramene z tab. 3.12 [-]

 $t_{\max}$  ... největší tloušťka plechu (horní mezní rozměr) [mm]

Pro přibližné stanovení vůle platí: barevné kovy  $v = (1,0 \div 1,1) \cdot t$  [mm] (3.56)

$$v = (1,05 \div 1,15) \cdot t \quad [\text{mm}] \quad (3.57)$$

Je zřejmé, že na velikosti vůle závisí i velikost ohýbané síly a velikost odpružení v případě ohybu do tvaru U. Pokud se stanoví příliš malá vůle, může dojít i ke ztenčení ohnutých krajů součásti. Vůle se stanoví na té části ohýbadla, na které není určena přesnost součásti.

### 3.2.8. Funkční části ohýbacího nástroje pro lisy [10]

Hlavními částmi ohýbacího nástroje jsou funkční části, a to ohýbací pohyblivá čelist (ohybník) a ohýbací čelist pevná (ohybnice). Jednoduchá ohýbadla, která pracují v jednom kroku, se konstruují jako nevedená. Pokud konstruujeme nástroje postupové nebo sdružené nástroje, dělají se vedené, protože dochází ke kombinaci různých operací, jako je stříhání, děrování a ohýbání.

## Ohýbací čelist pohyblivá

Je horní část nástroje, která se v případě jednoduchého nástroje upíná přímo za stopku do beranu lisu. Podle velikosti ohýbadla může být stopka z jednoho dílu zároveň s ohybníkem. Na povrchu ohybníku mohou být elementy, které zabrání pohybu polotovaru při ohybu. Může to být např. zdrsňení ohybníku nebo připevnění kaleného hrotu. Šířka ohybníku musí odpovídat nejméně rozměru šířky ohýbaného dílu. Každá funkční hrana ohybníku musí být zaoblена poloměrem  $r_p$ , která je shodná s poloměrem ohybu součásti  $R_0$ , ale zároveň musí splnit podmínku minimálního ohybu  $R_{\min}$ . Pokud tato podmínka není splněna, musí se daný poloměr  $R_0$  zvýšit alespoň na  $R_{\min}$ . Hrany ohybníku jsou kaleny a leštěny. Větší rozměry ohybníků se z důvodu úspory materiálu dělají jako vložkované.

### Ohýbací čelist pevná

Je spodní část nástroje, která je upevněna na stole lisu. Může obsahovat zarážecí dorazy pro přesné ustavení přístřihu, vyhazovače (tvoří dno pro ohýbání do tvaru U) nebo prvky zamezující posunutí při pohybu ohybníku. Na jakost ohybu a velikost ohýbací síly má vliv poloměr zaoblení činné části pevné čelisti  $r_m$ .

#### **Stanovení poloměru zaoblení ohybnice $r_m$**

Poloměr zaoblení se volí v rozmezí  $r_m = (2 \div 6) \cdot t$ . Doporučené velikosti zaoblení a hloubky pevné čelisti v závislosti na tloušťce materiálu a délce ramene součásti jsou uvedeny v tab. 3.12.

Délka ramene $a$ [mm]	Tloušťka materiálu [mm]											
	do 0,5			0,5 ÷ 2			2 ÷ 4			nad 4		
	$l_o$	$r_m$	$c$	$l_o$	$r_m$	$c$	$l_o$	$r_m$	$c$	$l_o$	$r_m$	$c$
10	6	3	0,1	10	3	0,1	10	4	0,08	-	-	-
20	8	3	0,1	12	4	0,1	15	5	0,08	20	8	0,06
35	12	4	0,15	15	5	0,1	20	6	0,08	25	8	0,06
50	15	5	0,2	20	6	0,15	25	8	0,1	30	10	0,08
75	20	6	0,2	25	8	0,15	30	10	0,1	35	12	0,1
100	-	-	-	30	10	0,15	35	12	0,1	40	15	0,1
150	-	-	-	35	12	0,2	40	15	0,15	50	20	0,1
200	-	-	-	45	15	0,2	55	22	0,15	65	25	0,15

Tab. 3.12 Doporučené velikosti zaoblení  $r_m$ , hloubky pevné čelisti  $l_o$  a součinitele vlivu tření  $c$  na tloušťce materiálu  $t$  a délky ramene  $a$  [11]

U plechů tloušťky  $t > 3$  mm je výhodnější srazit hrany pod úhlem  $45^\circ$  a přechody zaoblit poloměrem  $r_m$ .

### **3.2.9. Materiál funkčních částí [3]**

Ohybníky a ohybnice se většinou dělají z uhlíkových ocelí, např. 11 500, 11 600, nebo z nástrojových uhlíkových ocelí. Nástrojová ocel je hlavně využita pro výrobu vložek vložkovaných ohybnic a ohybníků. Pro zajištění větší odolnosti proti opotřebení se využívá karbidových vložek.

### **3.2.10. Stroje a zařízení k ohýbání**

K tomu, abychom mohli provádět proces ohýbání, musíme stanovit stroj, na kterém by daná součást šla nejvýhodněji a nejekonomičtěji vyrobit. Volba stroje závisí na velikosti vyráběného dílu, složitosti, sériovosti a zda bude proces možno automatizovat. Dalším kritériem je nástroj.

### Lisy

Pro ohýbání lze použít lisů, které byly popsány v kapitole 3.1.9. Stroje a zařízení ke stříhání.

### Ohýbačky

Ohýbačky jsou jednoduché stroje, které slouží k ohýbání delších součástí. Jsou složeny z pevné lišty, pohyblivé (otočné) lišty a přitlačné lišty. Poloměr ohybu je dán

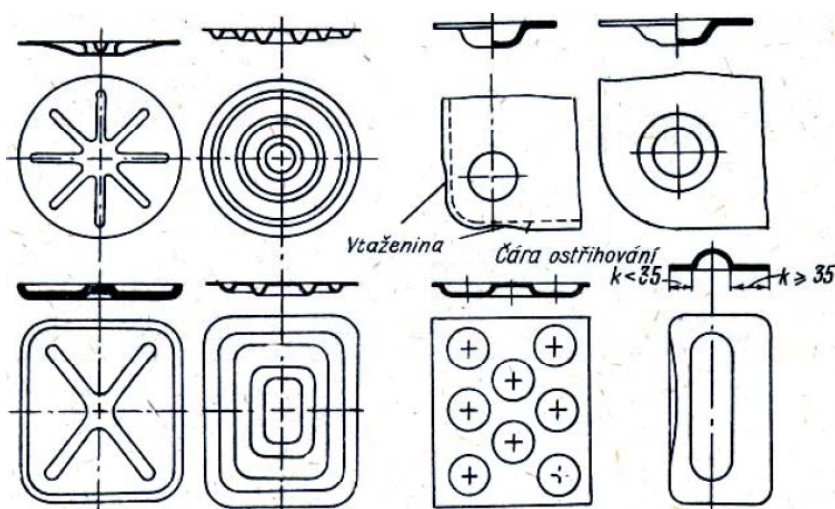
poloměrem přitlačné lišty. Podle realizace pohybu ohýbací lišty jsou ohýbačky ruční, mechanické, hydraulické nebo číslicově řízené.

### Ohraňovací lisy

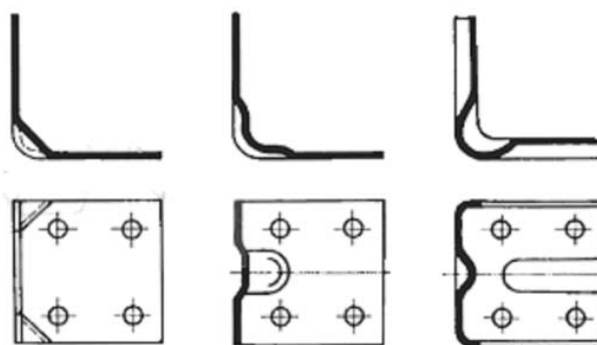
Ohraňovací lisy jsou stroje, které jsou konstrukcí podobné mechanickým lisům. Tvarují se na nich rozměrné polotovary v délce několika metrů. Výměnné nástroje (lišty) jsou mnohem jednodušší, než jsou nástroje u mechanických lisů. Ohýbaná součást je vyrobena v několika operacích.

### 3.3. PROLISOVÁNÍ – RELIÉFNÍ PŘETVÁŘENÍ [11]

Prolisy se většinou využívají v automobilovém průmyslu, při výrobě přístrojů v radiotechnice atd. Jejich hlavní funkcí je zvýšení tuhosti rovného plechového dílce nebo snížení hodnoty odpružení při ohýbání.



Obr. 3.32 Příklady reliéfního přetváření – lisování výztužných žebér a důlků [11]



Obr. 3.33 Zpevnění ohýbaných součástí prolisem [2]

Pokud se jedná o reliéfní lisování na klikovém lise s plochou součásti  $S < 2\,000\text{ mm}^2$  s tloušťkou do 1,5 mm, je možno lisovací sílu vypočítat podle vzorce:

$$F_l = S \cdot k \cdot t^2 \text{ [N]} \quad (3.58)$$

kde  $S$  ... je plocha součásti v  $\text{mm}^2$

k ... je pro ocel 300 až 400, pro mosaz 200 až 250

Pokud se jedná o lisování výztužných žeber, lze lisovací sílu přibližně vypočítat podle vzorce:

$$F_l = L \cdot t \cdot R_m \cdot k \quad [\text{N}] \quad (3.59)$$

kde L ... je délka výztužných žeber v [mm]

k ... je součinitel závisející na šířce a hloubce žebra a je v rozmezí  $(0,7 \div 1)$

### 3.4. DRUHY NÁSTROJŮ PODLE VYKONÁVANÝCH OPERACÍ [3]

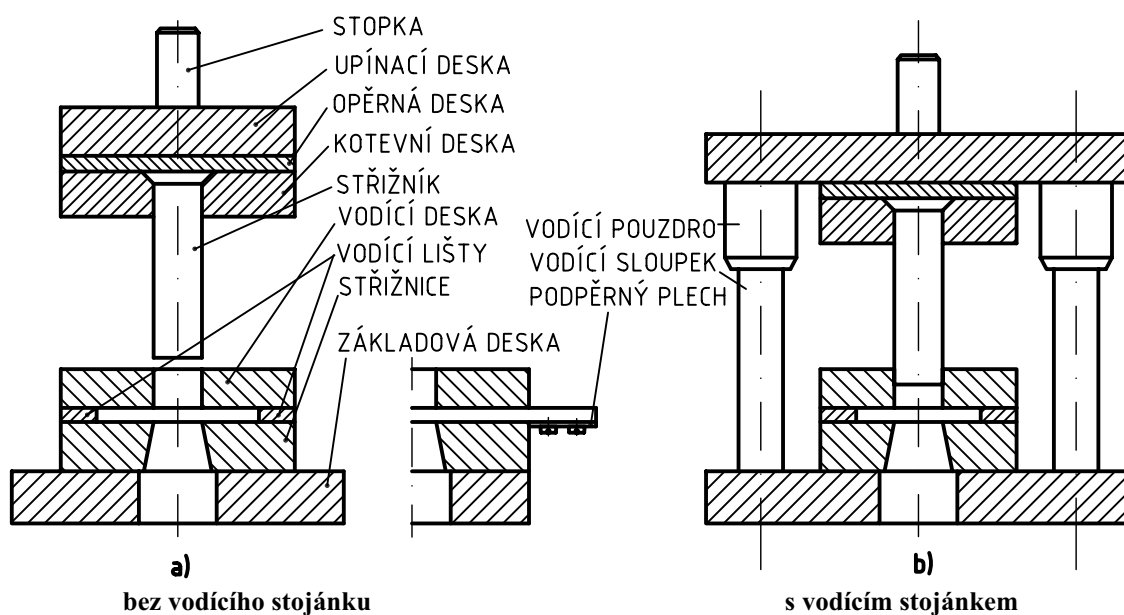
Aby proces při plošném tváření mohl probíhat, musí obsahovat funkční činné části, které se u stříhání nazývají střižník a střižnice. Tyto činné části nemohou pracovat samostatně, a proto je nutno zajistit vzájemnou geometrickou orientaci vhodnými prvky. Ve většině případů je snaha používat normalizovaných komponentů, které vyrábí specializované firmy a lze je dle charakteristických rozměrů objednat. Sestavený tvářecí nástroj (přípravek) se upíná za základovou desku na stůl tvářecího stroje (lisu) a za upínací desku k beranu lisu. Stůl a beran lisu jsou opatřeny „T“ drážkami a upínacími elementy jsou upínky různých provedení. Rozmístění a počet drážek závisí na velikosti (jmenovité síle) používaného stroje. Pokud se jedná o výstředníkový lis, upnutí v beranu lisu je ještě za stopku. Aby byl proces umožněn, je třeba zajistit přísun a orientaci materiálu a zajistit bezpečnost obsluhy.

Obecně se podle počtu a druhů operací nástroje dělí na:

- Nástroje jednoduché – většinou se používají na malé série a proces probíhá v jednom kroku. Nejčastěji jsou to nástroje na děrování, ohýbání, tažení atd. Tyto jednoduché nástroje se konstruují většinou jako nevedené.
- Nástroje postupové – vyznačují se dvěma a více operacemi, které následují za sebou (např. v prvním kroku se děruje a v druhém se vystřihuje). Většinou se konstruují jako vedené. Krokování je u těchto nástrojů zajištěno bočními odstříhovači, protože hledáček není kam umístit. Jako stroj je většinou využit výstředníkový lis.
- Nástroje sloučené – jsou takové nástroje, které se konstruují většinou jako stříhadla a slučují se operace jednoho druhu (např. děrování za současného vystřihování v jednom kroku).
- Nástroje postupové sdružené – jsou to složitější vedené nástroje, které sdružují operace různých typů v několika krocích. To znamená, že v několika krocích dochází nejen ke stříhání, ale i ke tvarování, ohýbání, tažení a stříhání obvodu.

Konstrukce nástroje je dána nástřihovým plánem, který by měl zajistit:

- úsporu materiálu
- silové vyvážení v ose nástroje
- silové vyvážení v rovině plechu
- snadný a přesný transport a jednoznačnou orientaci v rovině plechu při jednotlivých krocích.



Obr. 3.34 Schéma střižného nástroje [10]

## 4. NÁVRH TECHNOLOGIE VÝROBY SOUČÁSTI

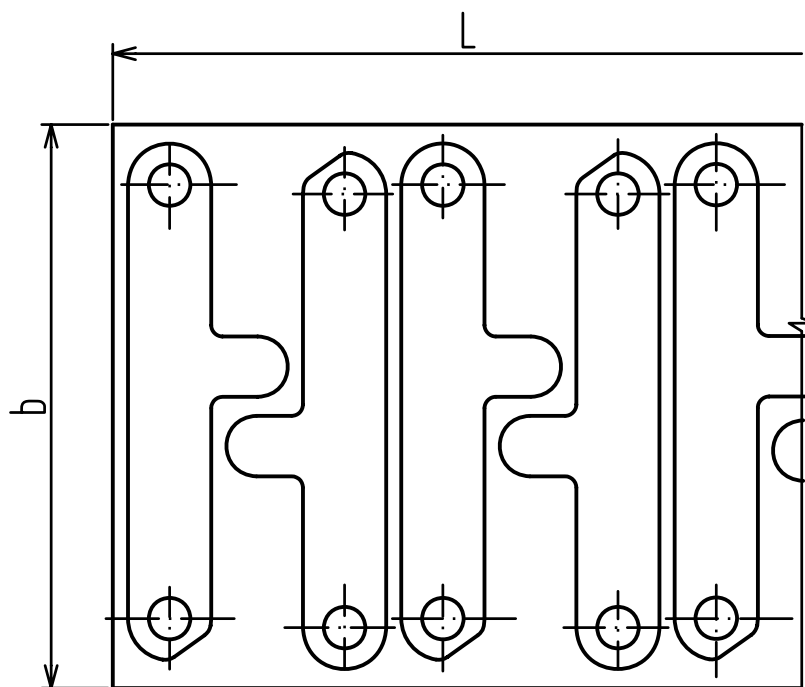
Před návrhem konečné technologie, kterou se bude daná součást vyrábět, se zhodnotí několik variant týkající se využití materiálu, různých postupů a technologií výroby.

### 4.1. VARIANTY VÝROBY

V této kapitole dojde k posouzení a vyhodnocení různých způsobů výroby, které se též týkají nástřihového plánu. Je zde popsáno několik postupů, kterými lze danou součást vyrobit.

#### 4.1.1. Varianta I

Polotovarem je tabule plechu, nastříhaná na pásy o rozměru  $b$ , které se vkládají do jednoduchého střižného nástroje. Nejprve se vystříhnou součásti orientované v jednom směru, poté se pás vysune a otočí horní stranou dolů a stříhají se součásti, které jsou na obr. 4.1 orientované opačným směrem. Takto lze součásti stříhat s využitím jednoho tvarového střižníku a dvou kruhových střižníků. Pokud budeme mít dva obrysové střižníky a čtyři kruhové děrovací střižníky, lze stříhat dvě součásti najednou. V tomto případě je možno použít jako polotovar svitek plechu a odpadá stříhání pásů na tabulových nůžkách a otáčení pásu. Prolis a ohýbání je zhotoveno v jednom nebo více nástrojích, do kterých se postupně vkládají jednotlivé vystřižené součásti.



Obr. 4.1 Nástřihový plán – varianta I a II

#### Nevýhody varianty:

- 1) nevhodné pro velkou sérii z důvodu pracnosti,
- 2) potřeba více nástrojů,
- 3) pokud se jedná o kontinuální výrobu, je zapotřebí dostatečný strojový park podniku, protože pro každý nástroj je třeba vlastní tvářecí stroj,
- 4) dlouhé časy na výrobu jedné hotové součásti, které se prodlužují manipulací mezi jednotlivými stroji,
- 5) větší počet dělníků pro zajištění výroby,
- 6) z technologického hlediska je možné, že vlivem prolisu, který se vytváří až po vystřížení obrysu součásti, dojde ke zúžení šířky dílce a ke zdeformování otvorů. Zúžení šířky není příliš podstatné, protože vnější část dílce není funkční. Pokud by bylo zúžení součástí vadou, musel by se prolis přesně propočítat a zvětšit v daném místě stříhanou součást.

#### 4.1.2. Varianta II

Ve variantě II je stejné rozmístění součástí jako ve variantě I, obr. 4.1., ale pro zhotovení celé součásti je zapotřebí jednoho nástroje, který ji vyrobí postupně v několika krocích. Pro tento způsob se může jako polotovar využít svitek plechu. Varianta je vhodná pro hromadnou a sériovou výrobu. A pokud bude navržen vhodný postup výroby, odpadnou některé nebo veškeré nedostatky popsány ve variantě I. Avšak tato varianta má jiné nedostatky.

#### Nevýhody varianty:

- 1) složitější konstrukce postupového sdruženého nástroje – vyšší pořizovací cena,



- 2) stroj s větší jmenovitou silou, než je zapotřebí u strojů využívajících jednoduché nástroje,
- 3) je zapotřebí přídatného mechanizačního zařízení jako je: odvíječka svitku plechu, rovnačka, mazání plechu a podávací zařízení, které je ovšem možno použít k zajištění kroku posuvu materiálu v nástroji.

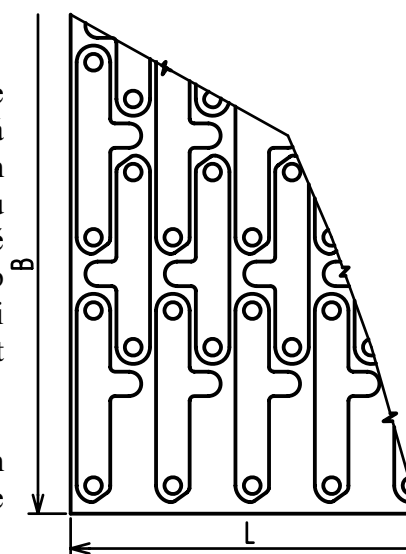
#### Výhody varianty:

- 1) pro hromadnou a sériovou výrobu,
- 2) snížení pracnosti a počtu pracovníků,
- 3) možnost automatizace,
- 4) snížení výrobních časů a manipulace,
- 5) jeden nástroj a jeden tvářecí stroj.

#### 4.1.3. Varianta III

Polotovarem je celá tabule plechu, na kterou se součást rozmístí jako na obr. 4.2. To znamená, že se nejedná o stříhání v nástroji, ale o řezání např. laserem, paprskem vody, plasmou atd. nebo za použití vysekávacího lisu (trumatick). Využití materiálu je závislé na použité technologii vystřížení nebo vypálení, protože každý způsob výroby využívá jiné hodnoty okrajů a můstků mezi jednotlivými součástmi. Po této operaci opět musí následovat operace v ohýbadle, která zajistí dva ohyby a prolis.

Výhodou je, že není třeba svitku plechu o určitém rozměru, ani pásů z tabule plechu, ale rovnou tabule, která se umísťuje na stůl zařízení.



Obr. 4.2 Nástřihový plán – varianta III

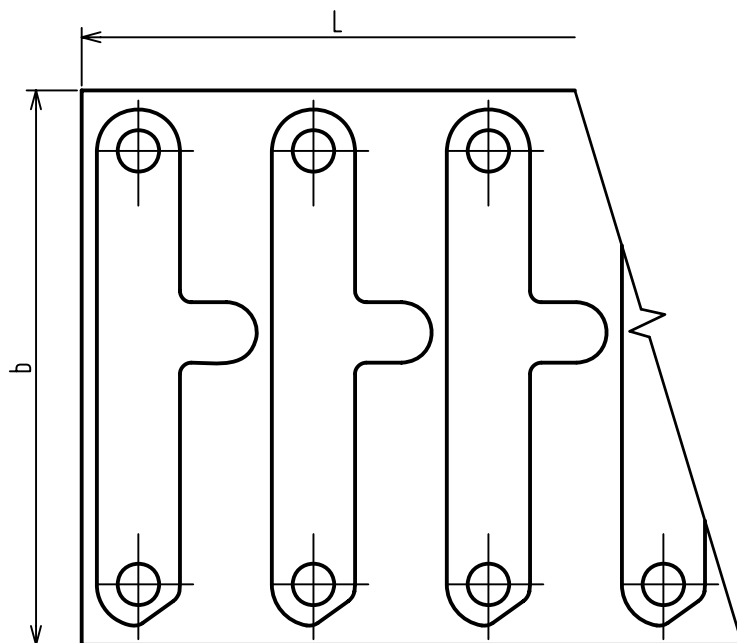
Nevýhody této varianty jsou přibližně stejné jako u varianty I.

#### Nevýhody varianty:

- 1) nevhodné pro velkou sérii z důvodu pracnosti u operace ohýbání (vkládání jednotlivých součástí do nástroje),
- 2) potřeba více nástrojů a zařízení,
- 3) dlouhé časy na výrobu jedné hotové součásti, které se prodlužují manipulací mezi stroji,
- 4) větší počet dělníků pro zajištění výroby,
- 5) z technologického hlediska je možné, že vlivem prolisu, který se vytváří až po vystřížení obrysu součásti, dojde ke zúžení šířky dílce a ke zdeformování otvorů. Zúžení šířky není příliš podstatné, protože vnější část dílce není funkční částí. Pokud by bylo zúžení součástí vadou, musel by se prolis přesně propočítat a zvětšit v daném místě stříhanou součást.

#### 4.1.4. Varianta IV

Varianta, ve které jsou součásti orientované na výšku a jsou uspořádány za sebou obr.4.3. Je možno využít tabule plechu, která je tabulovými nůžkami stříhána na pásy o šířce  $b$ , nebo svitek plechu o téže šířce. Vzhledem k uspořádání je vidět, že tento způsob má nejmenší využití materiálu.



Obr. 4.3 Nástřihový plán – varianta IV

Postup výroby je možno realizovat více jednoduchými nástroji (střížný nástroj a ohýbací nástroj), který je vhodný pro malosériovou výrobu, a tedy bez možnosti automatizace. Ovšem tato varianta je též vhodná pro sériovou výrobu za předpokladu výroby postupového sdruženého nástroje, který v několika krocích vyrobí hotovou součást.

Varianta IV je založena na předpokladu požadované sériové výroby, proto jako polotovar je vhodný svitek plechu, který bude zpracováván na postupovém sdruženém nástroji.

##### Výhody varianty:

- 1) efektivita při sériové výrobě,
- 2) manipulační časy pouze při založení svitků do odvíječky a zavedení pásu do nástroje,
- 3) jeden nástroj,
- 4) jeden tvářecí stroj,
- 5) jeden obsluhující pracovník,
- 6) po zavedení pásu do všech operací se vyrobí celá součást na jeden zdvih.

##### Nevýhody varianty:

- 1) složitější konstrukce sdruženého postupového nástroje, která se projeví vyšší pořizovací cenou,
- 2) tvářecí nástroj s větší jmenovitou silou, pro zajištění výroby součásti bez přetížení stroje,
- 3) pomocné mechanizační prostředky – odvíječ svitku plechu, mazací zařízení a podavač.

#### 4.1.5. Vyhodnocení variant

Jelikož daná součást bude vyráběna se sériovostí 250 000 ks/rok, je třeba zvolit takovou variantu, která bude vyhovovat tomuto požadavku. Z výše navržených způsobů nejlépe vyhovují varianty II a IV. Pro tyto dvě varianty bude následně vypočteno využití materiálu, které by mělo být co největší z hlediska hospodárnosti materiálu. Ale jak je vidět z obr. 4.1, 4.2, a 4.3, využití materiálu v tomto případě nebude nejhlavnějším kritériem pro stanovení vhodného výrobního nástroje nebo skupinu nástrojů.

Výpočty pro využití materiálu za použití svitku budou vztaženy na určitou délku svitku. Celková spotřeba svitků a cena materiálu na celou sérii zvolené varianty bude vypočtena v ekonomickém zhodnocení.

### 4.2. VYUŽITÍ MATERIÁLU VYBRANÝCH VARIANT

Z hlediska polotovaru, kterým je svitek plechu, se orientačně vypočte využití materiálu na zvolené délce, která se ve většině případů volí jako délkový rozměr tabule plechu. Procentuální rozdíly mezi výpočty vztažené k tabuli plechu a svitku se přibližně mění v desetinách procentech, a proto je možno vzhledem k velikosti série tento rozdíl zanedbat.

#### 4.2.1. Varianta II

<u>Můstek:</u>	$e = 4 \text{ [mm]}$	z přílohy 8
<u>Okraje:</u>	$f = 10 \text{ [mm]} \Rightarrow f/2 = 5 \text{ [mm]}$	z přílohy 8
<u>Krok:</u>		

výpočet podle vzorce 3.3 z kapitoly 3.1.6.

$k = g + e = 31,2 + 4 + 22 + 4 + 11 = 72,2 \cong \underline{72 \text{ [mm]}}$ , počítáno jako krok mezi dvěma součástmi ve stejném směru. Celkový počet součástí se poté násobí dvěma.

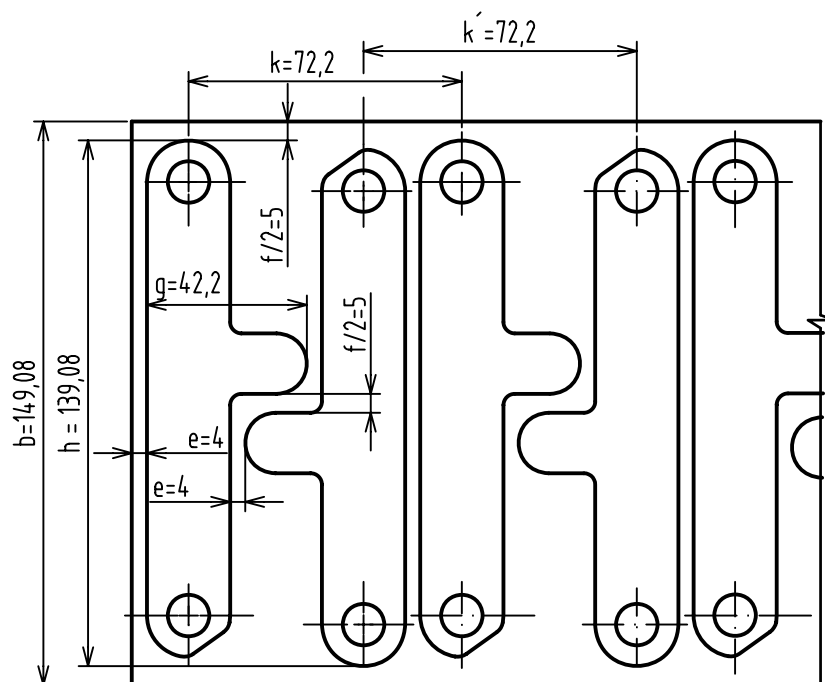
Šířka pásu:

výpočet podle vzorce 3.4 z kapitoly 3.1.6.

$$b = h + f = 139,08 + 10 = 149,08 \cong \underline{149 \text{ [mm]}}$$

Hodnoty kroku a šířky pásu jsou vhodně zaokrouhleny tak, že se nepatrně zmenší nebo naopak zvětší rozměry můstku a okraje.

Zvolená délka:  $L = 2\,500 \text{ [mm]}$



Obr. 4.4 Varianta nástřihového plánu II

Počet výstřížků z délky L:

výpočet podle vzorce 3.9 z kapitoly 3.1.6.

$$n = \frac{L - e}{k} \cdot 2 = \frac{2\,500 - 4}{72} \cdot 2 = \underline{\underline{69 \text{ výstřížků}}}$$

Využití materiálu:

výpočet podle vzorce 3.10 z kapitoly 3.1.6.

$$k_n = \frac{n \cdot S_v}{S_p} = \frac{2\,500 \cdot 3\,314,297}{372\,500} = 0,6139 \Rightarrow \underline{\underline{61,39 [\%]}}$$

$S_v$ ...plocha výstřížku [mm<sup>2</sup>], která je zjištěna z programu Inventor

$S_p$ ...plocha polotovaru [mm<sup>2</sup>]

$$S_p = L \cdot b = 2\,500 \cdot 149 = \underline{\underline{372\,500 \text{ [mm}^2\text{]}}}$$

#### 4.2.2. Varianta IV

Můstek:  $e = 4 \text{ [mm]}$

z přílohy 8

Okraje:  $f = 10 \text{ [mm]} \Rightarrow f/2 = 5 \text{ [mm]}$

z přílohy 8

Krok:

výpočet podle vzorce 3.3 z kapitoly 3.1.6.

$$k = g + e = (31,2 + 11) + 4 = 46,2 \cong \underline{\underline{46 \text{ [mm]}}}$$

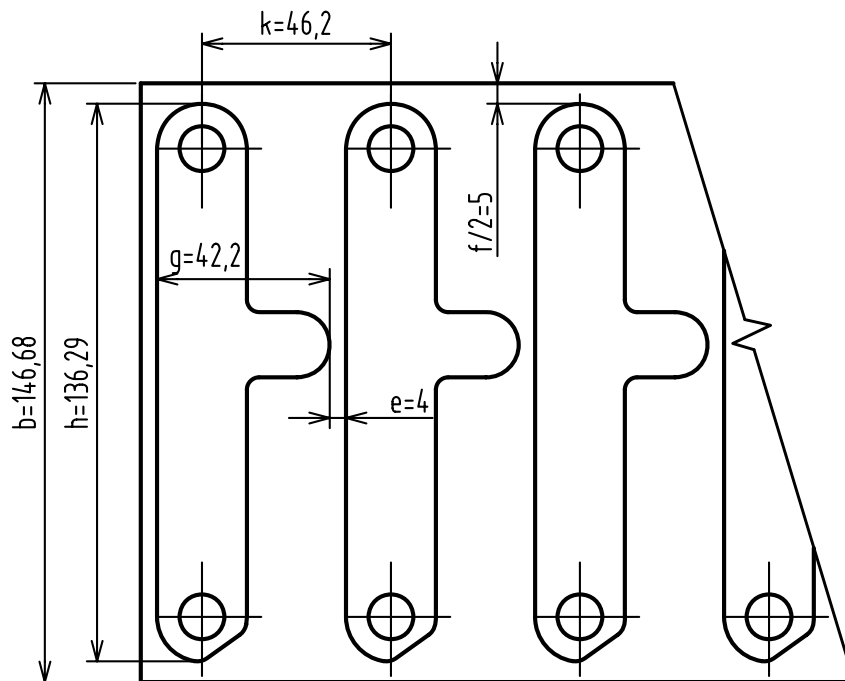
Šířka pásu:

výpočet podle vzorce 3.4 z kapitoly 3.1.6.

$$b = h + f = 136,29 + 10 = 146,29 \cong \underline{146 \text{ [mm]}}$$

Hodnoty kroku a šířky pásu jsou vhodně zaokrouhleny tak, že se nepatrně zmenší nebo naopak zvětší rozměry můstku a okraje.

Zvolená délka:  $L = 2\,500 \text{ [mm]}$



Obr. 4.5 Nástřihový plán – varianta IV

Počet výstřížků z délky L:

výpočet podle vzorce 3.9 z kapitoly 3.1.6.

$$n = \frac{L - e}{k} = \frac{2\,500 - 4}{46} = \underline{\underline{54 \text{ výstřížků}}}$$

Využití materiálu:

výpočet podle vzorce 3.10 z kapitoly 3.1.6.

$$k_n = \frac{n \cdot S_v}{S_p} = \frac{54 \cdot 3\,314,297}{365\,000} = 0,4903 \Rightarrow \underline{\underline{49,03 [\%]}}$$

$S_v$ ...plocha výstřížku [ $\text{mm}^2$ ], zjištěna z programu Inventor

$S_p$ ...plocha polotovaru [ $\text{mm}^2$ ]

$$S_p = L \cdot b = 2\,500 \cdot 146 = \underline{\underline{365\,000 [\text{mm}^2]}}$$

### 4.2.3. Vyhodnocení variant z hlediska využitelnosti materiálu

Po propočtu využitelnosti materiálu obou variant jsem došla k výsledkům, které ukazují ve prospěch varianty II. Tato varianta dosahuje využitelnosti materiálu 61,39 %, což je o 12,36 % více než u varianty IV, která činí 49,03 %.

	Varianta II	Varianta IV
Výstřížků na délce L [ks]	69	54
Využitelnost materiálu [%]	61,39	49,03

Tab. 4.1 Zhodnocení variant

V tomto případě není možné brát jako kritérium pouze využití materiálu, ale zároveň se musí vzít v potaz též způsob postupu výroby součásti, který zásadně souvisí se složitostí a náročností výroby tvářecího nástroje.

Pro toto další vyhodnocení budou zpracovány varianty způsobu výroby vzhledem k postupu výroby součásti.

### 4.3. VÝROBNÍ POŽADAVKY

Jedná se o sériovou výrobu s velikostí série 600 000 ks/rok, z toho vyplývá využití varianty II a IV z kapitoly 2.1., které využívají jako polotovar svitek plechu. Materiál S420MC je z hlediska mechanických a chemických vlastností vhodný pro danou technologii i součást. Větší zpevnění se dosáhne prolisem, který se prolisuje tvarovým lisovníkem.

### 4.4. VARIANTNÍ ŘEŠENÍ POSTUPOVÉHO NÁSTROJE

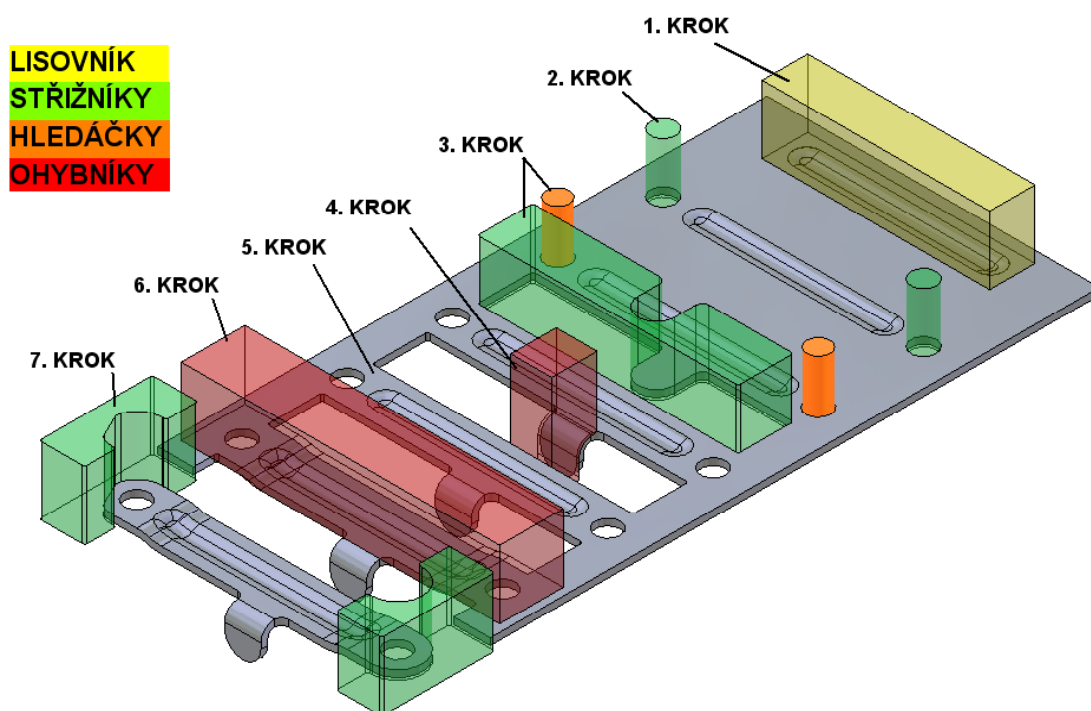
Variantní řešení znázorňují různé druhy technologického postupu výroby součásti a budou konečným kritériem pro výrobu nástroje. Všechny způsoby jsou navrženy tak, aby daná součást byla zcela vyrobitelná v postupovém sdruženém nástroji. Ke zvolené variantě bude zhotovena výkresová dokumentace tvářecího nástroje.

#### 4.4.1. Varianta A

- POLOTOVAR – svitek plechu o šířce  $b$
- KROK – je zajištěn rovnacím a zároveň podávacím zařízením a ustředění pomocí hledáček
- POSTUP – jednotlivé kroky v nástroji
  1. KROK: vytvoření prolisu pro zpevnění dílu (případné mírné stažení pásu)
  2. KROK: vystřížení funkčních otvorů,  
využití otvorů pro zahledání (vystředění pásu a zajištění kroku)
  3. KROK: zahledání za otvory z předchozí operace,  
vystřížení tvarovým střížníkem jednostranného obrysu mezi dvěma součástmi  
ponechání okrajů pro zajištění soudržnosti dílů mezi sebou

4. KROK: ohnutí výstupku do pravého úhlu tvarovým ohybníkem
5. KROK: volný krok z nedostatku místa pro následující operaci, možnost zařazení další operace vzniklé úpravami součásti
6. KROK: mírný ohyb o 1,5 mm do tvaru „U“ ohybníkem, jenž je tvarově přizpůsoben celkovému ohnutí
7. KROK: odstřížení okrajů dvěma tvarovými střížníky

Odstranění součásti z pracovního prostoru je možno realizovat jednoduchým manipulačním mechanizačním prostředkem (háčkem) nebo bude vysunuta další součástí při posunutí pásu do poslední operace.



Obr. 4.6 Varianta A

#### 4.4.2. Varianta B

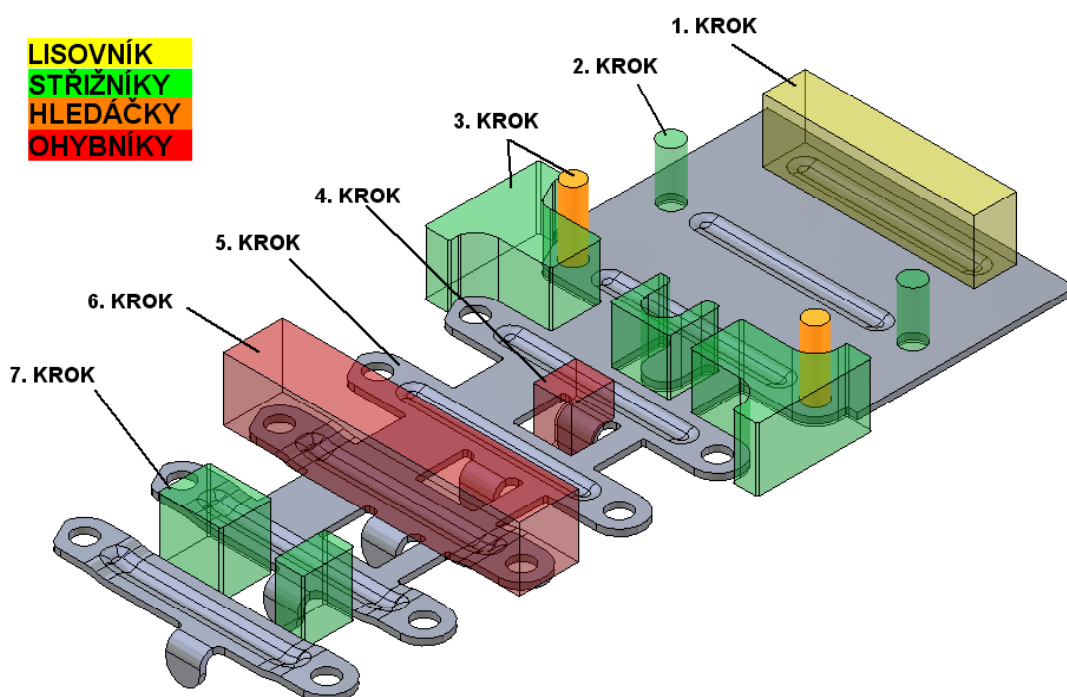
- POLOTOVAR – svitek plechu o šířce  $b$
- KROK – je zajištěn rovnacím a zároveň podávacím zařízením a ustředění pomocí hledáček
- POSTUP – jednotlivé kroky v nástroji
  1. KROK: vytvoření prolisu pro zpevnění dílu (případné mírné stažení pásu)
  2. KROK: vystřížení funkčních otvorů, využití otvorů pro zahledání (vystředění pásu a zajištění kroku)
  3. KROK: zahledání za otvory z předchozí operace,

vystřížení třemi tvarovými střížníky jednostranného obrysu mezi dvěma součástmi

ponechání dvou můstků pro zajištění soudržnosti a tuhosti dílů mezi sebou

4. KROK: ohnutí výstupku do pravého úhlu tvarovým ohybníkem
5. KROK: volný krok z nedostatku místa pro následující operaci, možnost zařazení další operace vzniklé úpravami součásti
6. KROK: ohybnice je o 1,5 mm vyvýšena, pás plechu na ni najede pomocí rádiusu a dojde k ohnutí koncových stran dílu do tvaru „U“ ohybníkem a ohybnicí, které jsou tvarově přizpůsobeny požadovanému tvaru
7. KROK: odstřížení okrajů dvěma tvarovými střížníky

Součást je po odstřížení v posledním kroku samovolně dopravena skluzem do bedny. Je to zajištěno tím, že okraj střížnice je ukončen v polovině poslední součásti a gravitační silou po odstřížení padá na skluz.



Obr. 4.7 Varianta B

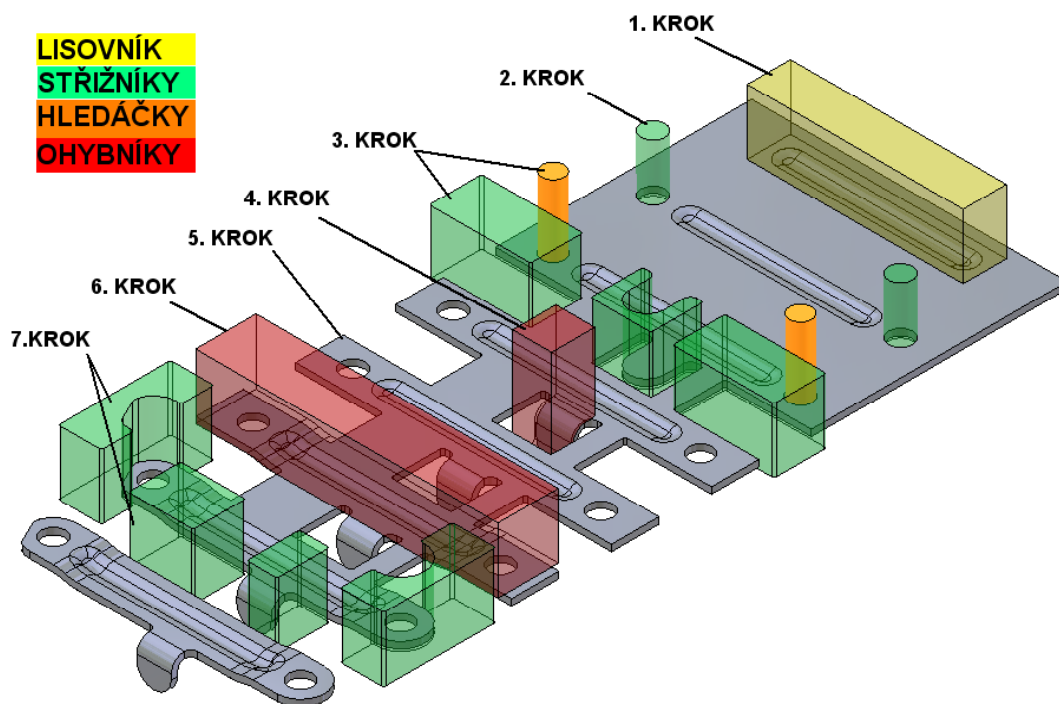


#### 4.4.3. Varianta C

- POLOTOVAR – svitek plechu o šířce  $b$
- KROK – je zajištěn rovnacím a zároveň podávacím zařízením a ustředění pomocí hledáček
- POSTUP – jednotlivé kroky v nástroji
  1. KROK: vytvoření prolisu pro zpevnění dílu (případné mírné stažení pásu)
  2. KROK: vystřížení funkčních otvorů,  
využití otvorů pro zahledání (vystředění pásu a zajištění kroku)
  3. KROK: zahledání za otvory z předchozí operace,  
vystřížení třemi tvarovými střížníky jednostranného obrysu mezi dvěma součástmi  
  
ponechání dvou můstků mezi součástmi pro zajištění soudržnosti a tuhosti součásti v jednotlivých krocích
  4. KROK: ohnutí ramínka tvarovým ohybníkem
  5. KROK: volný krok z nedostatku místa pro následující operaci,  
možnost zařazení další operace vzniklé úpravami součásti
  6. KROK: ohybnice je o 1,5 mm vyvýšena, pás plechu na ni najede pomocí  
rádiusu vytvořeného na ohybnici a dojde k ohnutí koncových stran dílu do tvaru „U“ ohybníkem a ohybnicí, které jsou tvarově přizpůsobeny požadovanému tvaru
  7. KROK: odstřížení konců dílce dvěma tvarovými střížníky, které přestřihnou můstky

Součást je po odstřížení v posledním kroku samovolně dopravena skluzem do bedny. Je to zajištěno tím, že okraj střížnice je ukončen v polovině poslední součásti a gravitační silou po odstřížení padá na skluz.

Tato varianta by byla vhodná pro rozměrově přesné součásti obrysu, protože se zaoblení stříhá až po ohnutí. Pokud by bylo zkrácení součásti po ohnutí veliké, vystřihly by se otvory pro hledáčky v technologickém odpadu nebo by se vystřihly menší funkční otvory. Za ty by se následně zahledávalo a přesný funkční rozměr se dostřihne až po ohnutí.



Obr. 4.8 Varianta C

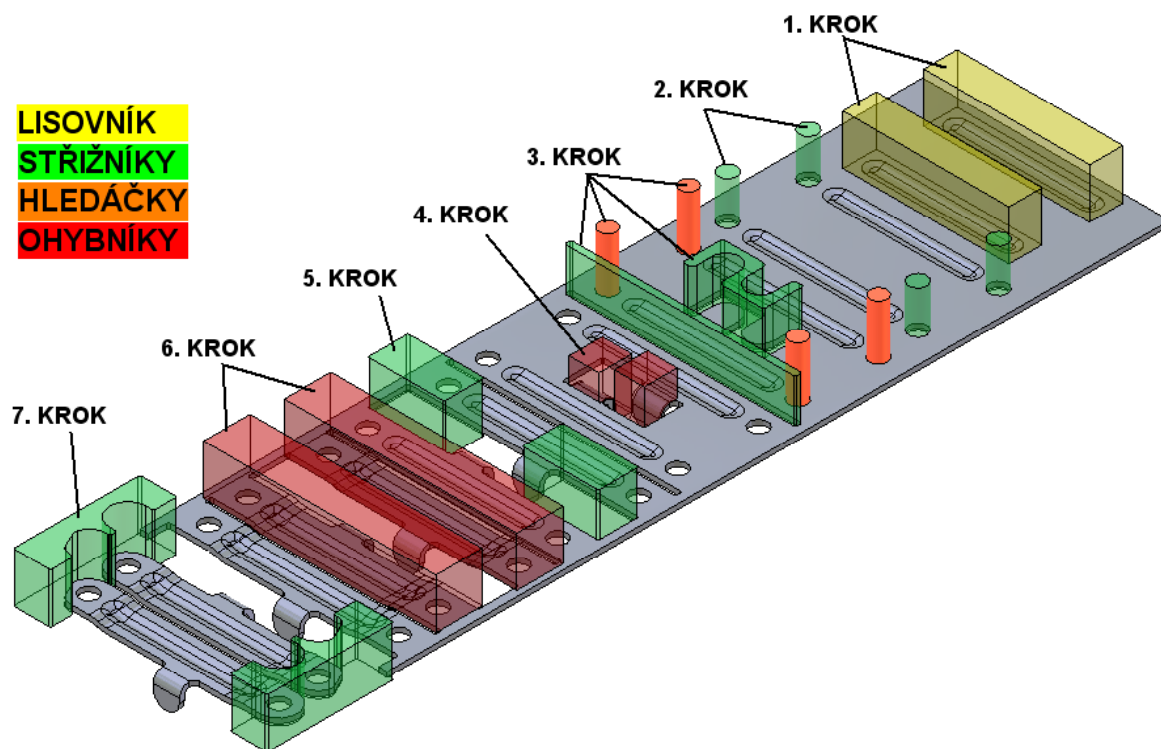
#### 4.4.4. Varianta D

- POLOTOVAR – svitek plechu o šířce  $b$
- KROK – je zajištěn rovnacím a zároveň podávacím zařízením a ustředění pomocí hledáček
- POSTUP – jednotlivé kroky v nástroji

Výroba dvou součástí najednou, které jsou vůči sobě otočeny o  $180^\circ$ .

1. KROK: vytvoření dvou prolisů pro zpevnění dílů (případné mírné stažení pásu)
2. KROK: vystřížení čtyř funkčních otvorů,  
využití otvorů pro zahledání (vystředění pásu a zajištění kroku)
3. KROK: zahledání za otvory z předchozí operace,  
vystřížení dvěma tvarovými střížníky části obrysů mezi dvěma součástmi,  
ponechání okrajů pro soudržnost dílů na pásu svitku
4. KROK: ohnutí ramínek dvěma tvarovými ohybníky
5. KROK: dostřížení obrysu součástí dvěma jednoduchými obdélníkovými střížníky
6. KROK: dvěma tvarovými ohybníky požadovaného tvaru se vytvoří ohyb „U“  
do hloubky 1,5 mm
7. KROK: odstřížení konců dílců dvěma tvarovými střížníky, které oddělí součásti od svitku plechu a dotvarují součást

Při odstřížení v posledním kroku jsou dílce podepřeny střížnicí, která neumožní, aby součásti mohly samovolně spadnout do bedny. Proto vyjímání součástí je nutno zabezpečit jednoduchým mechanizačním prostředkem. Vystrčení dílů při posuvu pásu není možné, protože jedna ze součástí by mohla uvíznout při posuvu ve střížnici pro druhou součást.



Obr. 4.9 Varianta D

#### 4.4.5. Vyhodnocení variantních postupů výroby

U všech variant je nejprve vystřižen funkční otvor, za který se následně zahledává (vystředí pás plechu). Tento postup je možný i v případě, že dochází v některé z dalších operací k ohybu. Po propočtu rozvinuté délky jsem došla k výsledku, že se polotovár zkrátí po ohnutí jen o 0,08 mm. Rozměrová tolerance mezi otvory je  $\pm 0,2$  mm. To znamená, že budu počítat se zkrácením a rozměry budu zvětšovat o vypočtený rozměr, nebo to zanedbám.

Protože se v první operaci vytváří prolis, musí se zajistit u všech variant nadzvedávání pásu pro snadnější posun pásu svitku podavačem.

Všechny čtyři varianty jsou z hlediska výroby velmi podobné. Ve variantě D jsou vyráběny dvě součásti najednou, ale z hlediska výroby nástroje bude dražší než předchozí tři.

Rozdíly v jednotlivých krocích spočívají ve tvarech střížníků, které jsou v daných krocích používány, a v místech ponechání můstků a okrajů pro zabezpečení soudržnosti součástí ve svitku až po konečné odstřížení.

Výhodou u všech variant je, že nedochází ke vzniku spojitého odpadu a odpadá případné zařazení navíjecího zařízení nebo rozstřihovacího nože.

Pro konečnou volbu nástroje jsem zvolila **VARIANTU B**, při které nastane samovolné odpadnutí součásti do bedny. Je to zabezpečeno tím, že střížníky přestřihující můstky jsou umístěny co nejvíce do kraje střížnice a odstřížený díl samovolně

vlivem gravitace padá na skluz. Tato varianta je nejjednodušší variantou k tomu, abychom zajistili výrobu požadované součásti ve stanovených rozměrech.

#### 4.5. TECHNOLOGICKÝ POSTUP ZAHRNÚJÍCÍ VÝROBU SOUČÁSTI

Číslo operace	Název	Stroj
1.	VÝROBA SOUČÁSTI V NÁSTROJI	- JEDNOSTRANNÝ ODVIJÁK QOPJ 250/1400 - PODÁVACÍ ROVNAČKA QPRM 300/6 - MAZACÍ ZAŘÍZENÍ - KLIKOVÝ LIS ARP 80
2.	PRŮBĚŽNÁ KONTROLA	VZHLEDOVÁ (OTŘEPY – OSTŘENÍ), KONTROLA $\phi 11$ mm

Tab. 4.2 Technologický postup

Parametry, popis a vzhled jednostranného odvíjáku, a podávacího zařízení jsou uvedeny v příloze 9 a 10.

Jelikož se jedná o automatizovanou výrobu bude při výrobě zapotřebí jednoho zaměstnance. Ten musí být schopen provádět běžnou kontrolu výroby, v případě potřeb provést opravy. Výměna svitku ovšem nebude prováděna automatizovaně (robotem), ale bude ji zajišťovat tento zaměstnanec, který svitek vymění a zavede z jednostranného odvíjáku do rovnacího podávacího zařízení.

### 5. KONSTRUKČNÍ ŘEŠENÍ TVÁŘECÍHO NÁSTROJE

#### 5.1. VÝPOČTY STŘÍHÁNÍ

##### 5.1.1. Střížná síla

Podle velikosti střížníků jsem do výpočtů zahrnula střížnou sílu kolmých a zkosených (zešikmených) střížníků.

##### Střížná síla klasických kolmých střížníků

výpočet podle vzorce 3.12. z kapitoly 3.1.6.

$$F_{S1} = O \cdot t \cdot k_s \cdot n = O \cdot t \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot n = 153,12 \cdot 3 \cdot 0,8 \cdot 620 \cdot 1,2 = \underline{\underline{273\,411,07 \text{ [N]}}} = \underline{\underline{273,41 \text{ [kN]}}}$$

Jednotlivé obvody střížných hran střížníků jsou změřeny z programu Inventor.

$$O_1 = 69,12 \text{ [mm]}$$

$$O_2 = 56 \text{ [mm]} \quad O = \sum_{n=1}^3 O_n = 69,12 + 56 + 28 = \underline{\underline{153,12 \text{ [mm]}}}$$

$$O_3 = 28 \text{ [mm]}$$

### **Střížná síla upravených zešikmených střížníků**

U střížníků s větší střížnou plochou jsem navrhla střížníky zkosené o  $5^\circ$ . Touto úpravou dosáhnou snížení střížné síly, dojde k lepšímu vedení polotovaru při stříhu vlivem charakteru zkosení a sníží se charakteristický zvuk, který doprovází proces. Dále dojde k lepšímu odstranění odpadu ze střížníku.

Střížnou sílu těchto střížníků lze vypočítat podle vzorce 3.13 z kapitoly 3.1.6.

$$F_{S2} = S \cdot k_s \cdot k = 1154,87 \cdot 496 \cdot 0,4 = \underline{\underline{229\,126,41 \text{ [N]}}} = \underline{\underline{229,13 \text{ [kN]}}}$$

Plochy jsou odměřeny z programu Inventor.

$$S_1 = 399,41 \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$S_2 = 400,26 \text{ [mm}^2\text{]} \quad S = \sum_{n=1}^3 S_n = 399,41 + 400,26 + 355,20 = \underline{\underline{1154,87 \text{ [mm}^2\text{]}}}$$

$$S_3 = 355,20 \text{ [mm}^2\text{]}$$

### **Celková střížná síla**

$$F_S = F_{S1} + F_{S2} = 273\,411,07 + 229\,126,41 = \underline{\underline{502\,537,48 \text{ [N]}}} = \underline{\underline{502,54 \text{ [kN]}}}$$

Pro porovnání, o kolik procent se snížila střížná síla kombinovaných střížníků (rovná čela, zkosená čela), jsem vypočetla střížnou sílu za použití střížníků s rovnými čely.

$$\begin{aligned} \overline{F_S} &= F_{S1} + \overline{F_{S2}} = F_{S1} + n \cdot \overline{O} \cdot t \cdot k_s = 273\,411,07 + 1,2 \cdot 384,96 \cdot 3 \cdot 496 = \\ &= \underline{\underline{960\,795,65 \text{ [N]}}} = \underline{\underline{960,8 \text{ [kN]}}} \end{aligned}$$

Z těchto výpočtů plyne, že se střížná síla kombinovaných střížníků snížila o 47,7 %.

#### **5.1.2. Střížná práce**

Výpočet podle vzorce 3.19 z kapitoly 3.1.6.

$$A = \frac{k \cdot F_S \cdot t}{1\,000} = \frac{0,5 \cdot 502\,537,48 \cdot 3}{1\,000} = \underline{\underline{753,81 \text{ [J]}}}$$

#### **5.1.3. Síla potřebná k setření materiálu ze střížníku**

Tato síla je potřebná k tomu, aby se výstřížek nebo odpad materiálu odstranil ze střížníku, který ulpěl vlivem maziva nebo deformací.

výpočet podle vzorce 3.20 z kapitoly 3.1.6.

$$F_u = k_{eu} \cdot F_s = 0,13 \cdot 502\,537,48 = \underline{\underline{65\,329,87 \text{ [N]}}}$$

Tato síla bude vyvinuta výsuvnými kolíky pod pružinou, které se umísťují do střížníků. Částečné setření dále zajistí zkosené střížníky.

#### **5.1.4. Síla potřebná k vysunutí výstřížku ze střížnice**

výpočet podle vzorce 3.21 z kapitoly 3.1.6.

##### **Síla pro vysunutí ze střížnice u kolmých střížníků**

$$F_{v1} = k_{ev} \cdot F_{s1} \cdot n = 0,05 \cdot 273\,411,07 \cdot 2 = \underline{\underline{27\,341,11 \text{ [N]}}}$$

##### **Síla pro vysunutí ze střížnice u zkosených střížníků**

$$F_{v2} = k_{ev} \cdot F_{s2} \cdot n = 0,05 \cdot 229\,126,41 \cdot 1 = \underline{\underline{11\,456,32 \text{ [N]}}}$$

##### **Celková síla k vysunutí výstřížků ze střížnice**

$$F_v = F_{v1} + F_{v2} = 27\,341,11 + 11\,456,32 = \underline{\underline{37\,797,43 \text{ [N]}}}$$

#### **5.1.5. Střížná vůle**

výpočet podle vzorce 3.1. z kapitoly 3.1.4.

$$v = 2 \cdot z = 2 \cdot 0,257 = \underline{\underline{0,426 \text{ [mm]}}}$$

$$z = c \cdot t \cdot 0,32 \cdot \sqrt{k_s} = 0,01 \cdot 3 \cdot 0,32 \cdot \sqrt{0,8 \cdot 620} = \underline{\underline{0,213 \text{ [mm]}}}$$

#### **5.1.6. Kontrolní výpočet střížníků na tlak**

výpočet podle vzorce 3.22 z kapitoly 3.1.6.

$$R_{mDOV} = \frac{F_s}{S} \text{ [MPa]}$$

##### **Kruhový střížník**

$$R_{mDOV} = \frac{F_s}{S} = \frac{61\,710,34}{95,033} = \underline{\underline{649,36 \text{ [MPa]}}} > 180 \text{ [MPa]} \Rightarrow \text{JE TŘEBA OPĚRNÁ DESKA}$$

$$F_s = O \cdot t \cdot k_s \cdot n = 34,56 \cdot 3 \cdot 496 \cdot 1,2 = \underline{\underline{61\,710,34 \text{ [N]}}}$$

##### **Obdélníkový střížník menší**

$$R_{mDOV} = \frac{F_s}{S} = \frac{48\,461,4}{337,94} = \underline{\underline{143,4 \text{ [MPa]}}} < 180 \text{ [MPa]} \Rightarrow \text{NENÍ TŘEBA OPĚRNÁ DESKA}$$

$$F_s = O \cdot t \cdot k_s \cdot n = 27,14 \cdot 3 \cdot 496 \cdot 1,2 = \underline{\underline{48\,461,18 \text{ [N]}}}$$

### **Obdélníkový střižník větší**

$$R_{mDOV} = \frac{F_s}{S} = \frac{105\,600,4}{725,14} = \underline{\underline{145,63 \text{ [MPa]}}} < 180 \text{ [MPa]} \Rightarrow \text{NENÍ TŘEBA OPĚRNÁ DESKA}$$

$$F_s = O \cdot t \cdot k_s \cdot n = 59,14 \cdot 3 \cdot 496 \cdot 1,2 = \underline{\underline{105\,600,4 \text{ [N]}}}$$

### **Tvarový střižník 1**

$$R_{mDOV} = \frac{F_s}{S} = \frac{224\,539,2}{1\,500,12} = \underline{\underline{149,68 \text{ [MPa]}}} < 180 \text{ [MPa]} \Rightarrow \text{NENÍ TŘEBA OPĚRNÁ DESKA}$$

$$F_s = O \cdot t \cdot k_s \cdot n = 125,75 \cdot 3 \cdot 496 \cdot 1,2 = \underline{\underline{224\,539,2 \text{ [N]}}}$$

### **Tvarový střižník 2**

$$R_{mDOV} = \frac{F_s}{S} = \frac{239\,270,4}{378,23} = \underline{\underline{632,61 \text{ [MPa]}}} > 180 \text{ [MPa]} \Rightarrow \text{JE TŘEBA OPĚRNÁ DESKA}$$

$$F_s = O \cdot t \cdot k_s \cdot n = 134 \cdot 3 \cdot 496 \cdot 1,2 = \underline{\underline{239\,270,4 \text{ [N]}}}$$

### **Tvarový střižník 3**

$$R_{mDOV} = \frac{F_s}{S} = \frac{223\,432,1}{1\,813,73} = \underline{\underline{123,19 \text{ [MPa]}}} < 180 \text{ [MPa]} \Rightarrow \text{NENÍ TŘEBA OPĚRNÁ DESKA}$$

$$F_s = O \cdot t \cdot k_s \cdot n = 125,13 \cdot 3 \cdot 496 \cdot 1,2 = \underline{\underline{223\,432,1 \text{ [N]}}}$$

Plochy  $S$  jsou odměřeny z programu.

Podle výpočtů je opěrná deska potřebná vzhledem k otlačení u dvou střižníků. Vzhledem k preventivnímu opatření a jednoduššímu provedení bude opěrná deska velikosti upínací desky.

## **5.1.7. Kontrolní výpočty střižníků na vzpěr**

Kontrolní výpočet střižníku na vzpěr jsem vypočetla pro nejmenší kruhový střižník, čímž dostanu největší délku střižníku, kterou bych mohla pro návrh nástroje použít a nemusím propočítávat ostatní střižníky.

výpočet podle vzorce 3.28 z kapitoly 3.1.6., jako by byl střižník oboustranně upnutý, protože je veden ve vodící desce

$$l_{KR} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{n \cdot F_s}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{n \cdot O \cdot t \cdot k_s \cdot 1,2}} = \sqrt{\frac{4 \cdot \pi^2 \cdot 210\,000 \cdot 718,69}{2 \cdot (\pi \cdot 11) \cdot 3 \cdot 496 \cdot 1,2}} = \underline{\underline{219,73 \text{ [mm]}}}$$

výpočet modulu setrvačnosti pro kruhový průřez je podle vzorce 3.30 z kapitoly 3.1.6.

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{64} = \frac{\pi \cdot 11^4}{64} = \underline{\underline{718,69 \text{ [mm}^4\text{]}}}$$

Nejmenší průměr střížníku, který se v nástroji vyskytuje, může mít nanejvýš délku 219,37 mm. Tuto hodnotu nesmím překročit, aby nedošlo ke zlomení střížníku v průběhu procesu tváření.

## 5.2. VÝPOČTY OHÝBÁNÍ

### 5.2.1. Výpočet odpružení

Výpočty podle vzorce 3.34 z kapitoly 3.2.3.

#### Ohyb 1

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \beta &= 0,75 \cdot \frac{l_m}{k \cdot t} \cdot \frac{R_e}{E} = 0,75 \cdot \frac{12,6}{0,455 \cdot 3} \cdot \frac{420}{2,1 \cdot 10^5} = 0,01385 \text{ [-]} \Rightarrow \\ &\Rightarrow \underline{\underline{\beta = 0,79 \text{ [}^\circ\text{]} = 0 \text{ [}^\circ\text{]} 47 \text{ [']}}} \\ l_m &= r_m + R_o + 1,2 \cdot t = 6 + 3 + 1,2 \cdot 3 = \underline{\underline{12,6 \text{ [mm]}}} \end{aligned}$$

#### Ohyb 2

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \beta &= 0,75 \cdot \frac{l_m}{k \cdot t} \cdot \frac{R_e}{E} = 0,75 \cdot \frac{11018}{0,52 \cdot 3} \cdot \frac{420}{2,1 \cdot 10^5} = 0,01075 \text{ [-]} \Rightarrow \\ &\Rightarrow \underline{\underline{\beta = 0,62 \text{ [}^\circ\text{]} = 0 \text{ [}^\circ\text{]} 37 \text{ [']}}} \\ l_m &= \underline{\underline{11,18 \text{ [mm]}}} - \text{odměřeno ze součásti v programu Inventor} \end{aligned}$$

### 5.2.2. Stanovení $R_{\min}$ a $R_{\max}$

Výpočet podle vzorce 3.39. a 3.40 z kapitoly 3.2.5.

$$\begin{aligned} R_{\min} &= \frac{t}{2} \cdot \left( \frac{1}{\varepsilon_{t \max}} - 1 \right) = \frac{3}{2} \cdot \left( \frac{1}{0,3} - 1 \right) = \underline{\underline{3 \text{ [mm]}}} \\ \varepsilon &= \frac{t}{2 \cdot R_1 + t} = \frac{3}{2 \cdot 3 + 3} = \underline{\underline{0,3 \text{ [-]}}} \end{aligned}$$



Podle zadaného materiálu, který byl výrobcem podroben různým zkouškám, je možno použít

$$R_{\min} = 0,5 \cdot t = 0,5 \cdot 3 = 1,5 \text{ [mm]}.$$

Výpočet podle vzorce 3.43. z kapitoly 3.2.5.

$$R_{\max} = \frac{t}{2} \left( \frac{E}{R_e} - 1 \right) = \frac{3}{2} \left( \frac{2,1 \cdot 10^5}{420} - 1 \right) = \underline{\underline{748,5 \text{ [mm]}}}$$

### 5.2.3. Rozměr polotovaru – velikost rozvinutého tvaru

#### Šířka polotovaru

##### Ohyb 1:

Výpočet neutrální vrstvy podle vzorce 3.44. z kapitoly 3.2.6.

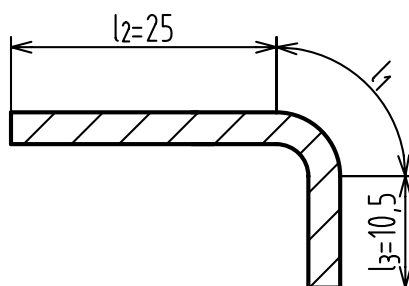
$$\rho_1 = R_0 + x \cdot t = 3 + 0,42 \cdot 3 = \underline{\underline{4,26 \text{ [mm]}}}$$

Výpočet délky oblouku podle vzorce 3.46. z kapitoly 3.2.6.

$$l_1 = \frac{\pi \cdot \varphi}{180} \cdot \rho_1 = \frac{\pi \cdot 90}{180} \cdot 4,26 = \underline{\underline{6,7 \text{ [mm]}}}$$

#### Celková šířka rozvinuté součásti

$$l_c = \sum_{n=1}^k l_n = l_1 + l_2 + l_3 = 6,69 + 25 + 10,5 = \underline{\underline{42,20 \text{ [mm]}}}$$



Obr. 5.1 Schéma určení šířky součásti

#### Délka polotovaru

##### Ohyb 1:

Výpočet neutrální vrstvy podle vzorce 3.44 z kapitoly 3.2.6.

$$\rho_1 = R_0 + x \cdot t = 20 + 0,481 \cdot 3 = \underline{\underline{21,44 \text{ [mm]}}}$$

**Výpočet délky oblouku** podle vzorce 3.46 z kapitoly 3.2.6.

$$l_1 = \frac{\pi \cdot \varphi}{180} \cdot \rho_1 = \frac{\pi \cdot 15,645}{180} \cdot 21,44 = \underline{\underline{5,86 \text{ [mm]}}}$$

### **Ohyb 2:**

**Výpočet neutrální vrstvy** podle vzorce 3.44 z kapitoly 3.2.6.

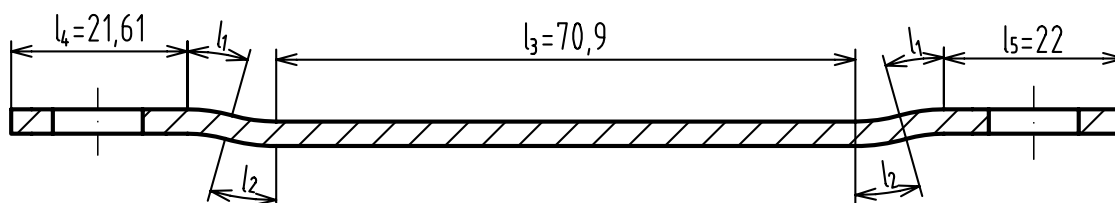
$$\rho_2 = R_0 + x \cdot t = 17 + 0,479 \cdot 3 = \underline{\underline{18,44 \text{ [mm]}}}$$

**Výpočet délky oblouku** podle vzorce 3.46 z kapitoly 3.2.6.

$$l_2 = \frac{\pi \cdot \varphi}{180} \cdot \rho_2 = \frac{\pi \cdot 15,645}{180} \cdot 18,44 = \underline{\underline{5,03 \text{ [mm]}}}$$

### **Celková délka rozvinuté součásti**

$$l_c = \sum_{n=1}^k l_n = l_1 + l_2 + l_3 + l_4 = 2 \cdot 5,86 + 2 \cdot 5,03 + 70,9 + 21,61 + 22 = \underline{\underline{136,29 \text{ [mm]}}}$$



**Obr. 5.2 Schéma určení délky součásti**

## **5.2.4. Ohybová síla**

Výpočet podle vzorce 3.52 z kapitoly 3.2.7.

### **Ohybová síla pro tvar z obr. 5.1**

Jednostranný ohyb, který se z hlediska výroby nezhotoví jako ohyb V, ale ohyb U. A proto se síla potřebná pro ohyb daného tvaru vypočte jako polovina ohybové síly do tvaru U.

$$F_{OU1} = \frac{(1 + 7 \cdot \mu) \frac{R_e \cdot b \cdot t^2}{r_p + t}}{2} = \frac{(1 + 7 \cdot 0,3) \cdot \frac{420 \cdot 16 \cdot 3^2}{6 + 3}}{2} = \underline{\underline{10\,416 \text{ [N]}}}$$

### **Ohybová síla pro tvar z obr. 5.2**

$$F_{OU2} = (1 + 7 \cdot \mu) \frac{R_e \cdot b \cdot t^2}{r_p + t} = (1 + 7 \cdot 0,3) \cdot \frac{420 \cdot 22 \cdot 3^2}{20 + 3} = \underline{\underline{11\,208,52 \text{ [N]}}}$$

### **Celková ohybová síla**

$$F_{OU} = F_{OU1} + F_{OU2} = 10\,416 + 11\,208,52 = \underline{\underline{21\,624,52 \text{ [N]}}} = \underline{\underline{21,625 \text{ [kN]}}}$$

### **5.2.5. Přidržovací síla**

Přidržovací síla, která je potřebná pro přidržení pásu svitku při ohýbání, je vyvozena přitlačnými kolíky pod pružinami. Ty mají za úkol přetlačit zvedací elementy a přidržet materiál v dané poloze.

Podle ČSN se uvádí, že pro přidržení materiálu od beranu lisu je přibližně podle vzorce 3.53 z kapitoly 3.2.7.

$$F_p = 0,25 \cdot F_{OU} = 0,25 \cdot 21\,624,52 = \underline{\underline{5\,406,13 \text{ [N]}}}$$

Z toho vyplývá, že síla od pružin musí dosahovat přibližných hodnot.

Síla od pružin, která se musí zahrnout k ohybové práci a návrhu stroje, je tedy následující:

$$F_p = n \cdot R_g \cdot f = 7 \cdot 44 \cdot 23 = \underline{\underline{7\,084 \text{ [N]}}}$$

kde  $n = 7$  ...počet pružin

$R_g = 44 \left[ \frac{\text{N}}{\text{mm}} \right]$  ... vyvolaná síla na jednotce dráhy

$f = 23 \text{ [mm]}$  ... pracovní dráha pružiny

Vypočtenou sílu jsem navrhla větší, pro zajištění dokonalého přitlačení vysunutého pásu.

### **5.2.6. Ohybová práce**

Výpočet podle vzorce 3.54. z kapitoly 3.2.7.

$$A_{OU1} = m \cdot (F_{OU1} + F_p) \cdot h = \frac{0,66 \cdot (10\,416 + 7\,084) \cdot 16,5}{1000} = \underline{\underline{190,58 \text{ [J]}}}$$

$$A_{OU2} = m \cdot (F_{OU2} + F_p) \cdot h = \frac{0,66 \cdot (11\,208,52 + 7\,084) \cdot 1,5}{1\,000} = \underline{\underline{18,11 \text{ [J]}}}$$

### 5.2.7. Vůle mezi nástroji

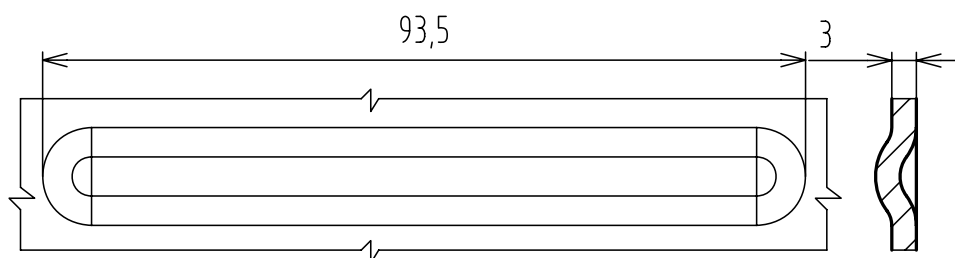
Výpočet podle vzorce 3.55. z kapitoly 3.2.7.

$$v = (t \div t_{\max}) + c \cdot t = 3 + 0,08 \cdot 3 = \underline{\underline{3,24 \text{ [mm]}}}$$

### 5.3. PROLIS – VYZTUŽENÍ SOUČÁSTI

Výpočet podle vzorce 3.59 z kapitoly 3.3.

$$F_L = L \cdot t \cdot R_m \cdot k = 93,5 \cdot 3 \cdot 620 \cdot 0,7 = \underline{\underline{121\,737 \text{ [N]}}}$$



Obr. 5.3 Délka prolisu

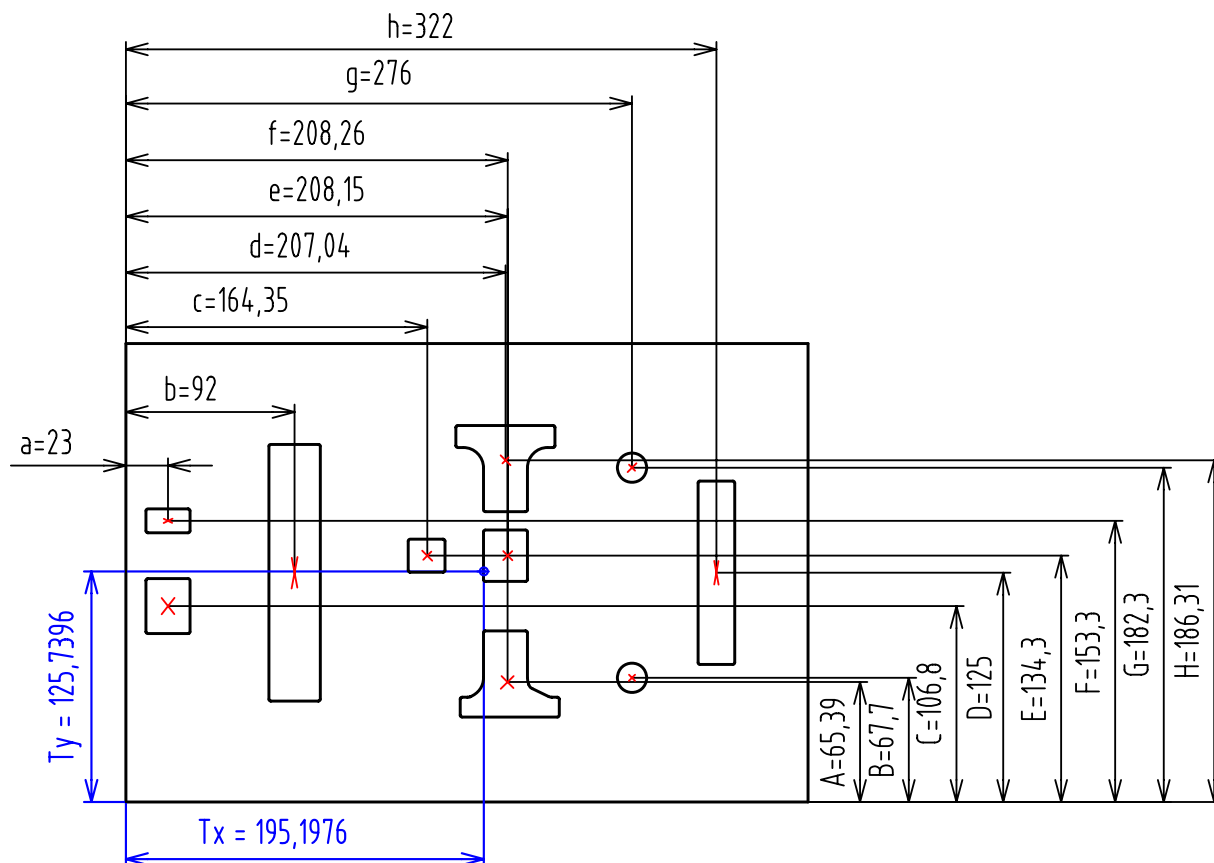
### 5.4. UMÍSTĚNÍ STOPKY

Jestliže se jako výrobní stroj použije klikový lis, je zapotřebí, aby nástroj obsahoval v horní upínací desce otvor, který slouží pro stopku. Velikost stopky je dána dutinou v beranu lisu. Horní část nástroje je upnuta pouze pomocí této stopky. Pokud se přenáší větší síly, horní část nástroje je upnuta ještě za pomoci upínacích šroubů.

Aby nástroj nenamáhal beran lisu klopným momentem, musí být stopka umístěna v těžišti všech výslednic tvářecích sil nástrojů (střížníků, ohybníků, lisovníků). Tím se též zabrání negativnímu ovlivnění nástroje.

Výslednice sil a následně celkové těžiště lze určit výpočtem nebo graficky.

### 5.4.1. Výpočet



Obr. 5.4 Těžiště jednotlivých nástrojů

**Směr osy x:**

Druh síly [N]				Vzdálenost [mm]		M <sub>k</sub> [N.mm]	
lisovací		F <sub>L</sub>	113 925,00	h	322,00	F <sub>L</sub> · h	36 683 850,00
ohýbací	1. ohyb	F <sub>01</sub>	10 416,00	c	164,35	F <sub>01</sub> · c	1 711 869,60
	2. ohyb	F <sub>02</sub>	11 208,52	b	92,00	F <sub>02</sub> · b	1 031 183,84
střížné	kruhový	F <sub>S1</sub>	61 710,34	g	276,00	F <sub>S1</sub> · g	17 032 053,84
	kruhový	F <sub>S11</sub>	61 710,34	g	276,00	F <sub>S11</sub> · g	17 032 053,84
	obdélník větší	F <sub>S2</sub>	99 993,60	a	23,00	F <sub>S2</sub> · a	2 299 852,80
	obdélník menší	F <sub>S3</sub>	49 996,80	a	23,00	F <sub>S3</sub> · a	1 149 926,40
	tvarový 1	F <sub>S4</sub>	79 243,34	e	208,15	F <sub>S4</sub> · e	16 494 501,22
	tvarový 2	F <sub>S5</sub>	79 411,98	d	207,04	F <sub>S5</sub> · d	16 441 456,34
	tvarový 3	F <sub>S6</sub>	70 471,08	f	208,26	F <sub>S6</sub> · f	14 676 307,12
			$\sum_{n=1}^{10} F$	638 087,00			$\sum_{n=1}^{10} (F \cdot v_z)$

Tab. 5.1 Hodnoty pro výpočet těžiště na ose x

### Vzdálenost $T_x$ od hrany kotevní desky:

$$T_x = \frac{\sum_{n=1}^{10} F \cdot v_z}{\sum_{n=1}^{10} F} = \frac{124\,553\,055}{638\,087} = 195,1976 \quad [\text{mm}]$$

### Směr osy $y$ :

Druh síly [N]				Vzdálenost [mm]		$M_k$ [N.mm]	
lisovací		$F_L$	113 925,00	D	125,00	$F_L \cdot h$	14 240 625,00
ohýbací	1. ohyb	$F_{01}$	10 416,00	E	134,30	$F_{01} \cdot c$	1 398 868,80
	2. ohyb	$F_{02}$	11 208,52	D	125,00	$F_{02} \cdot b$	1 401 065,00
střižné	kruhový	$F_{S1}$	61 710,34	G	182,30	$F_{S1} \cdot g$	11 249 794,98
	kruhový	$F_{S11}$	61 710,34	B	67,70	$F_{S11} \cdot g$	4 177 790,02
	obdélník větší	$F_{S2}$	99 993,60	C	106,80	$F_{S2} \cdot a$	10 679 316,48
	obdélník menší	$F_{S3}$	49 996,80	F	153,30	$F_{S3} \cdot a$	7 664 509,44
	tvarový 1	$F_{S4}$	79 243,34	A	186,31	$F_{S4} \cdot e$	14 763 826,68
	tvarový 2	$F_{S5}$	79 411,98	H	65,39	$F_{S5} \cdot d$	5 192 749,37
	tvarový 3	$F_{S6}$	70 471,08	E	134,30	$F_{S6} \cdot f$	9 464 266,04
		$\sum_{n=1}^{10} F$	638 087,00			$\sum_{n=1}^{10} (F \cdot v_z)$	80 232 811,81

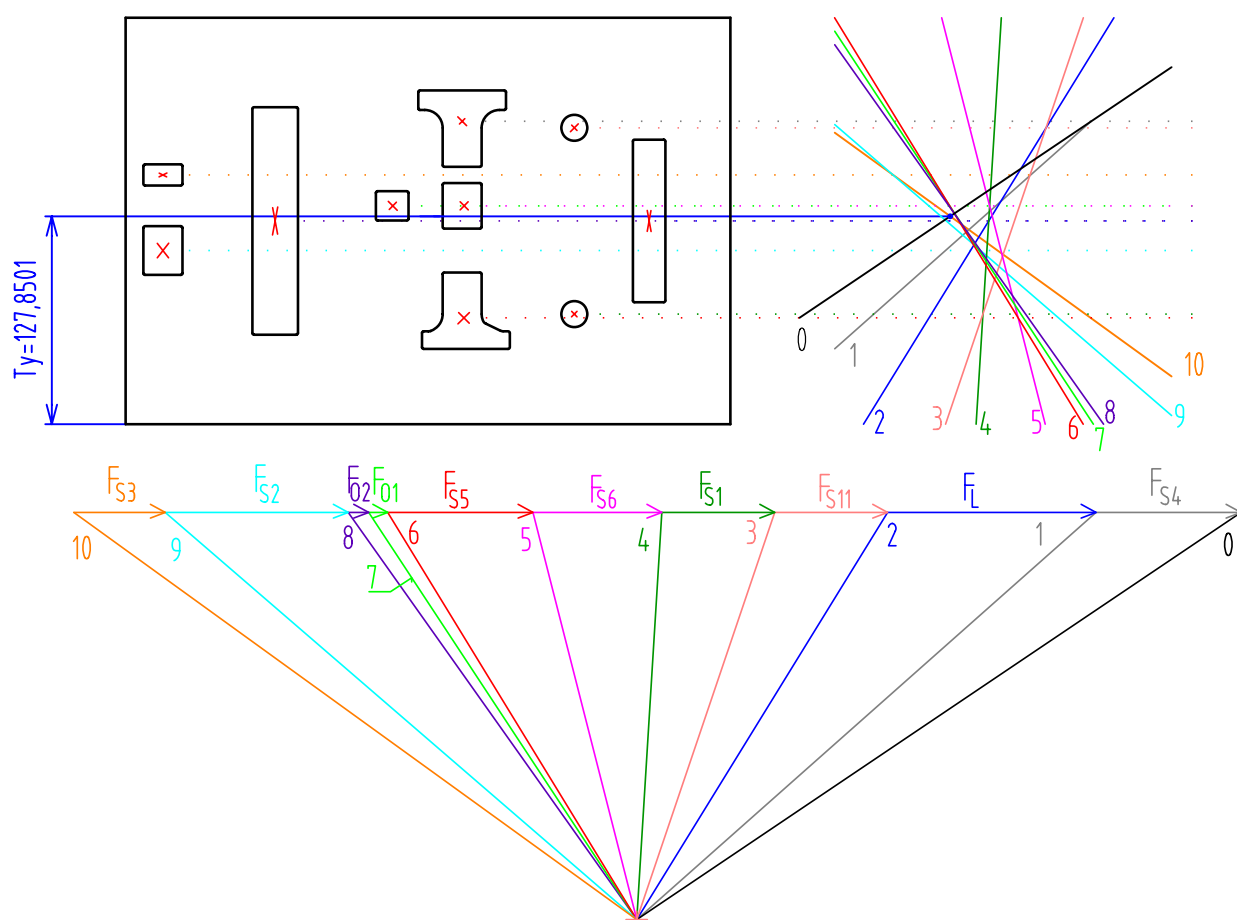
Tab. 5.2 Hodnoty pro výpočet těžiště na ose  $y$

### Vzdálenost $T_y$ od hrany kotevní desky:

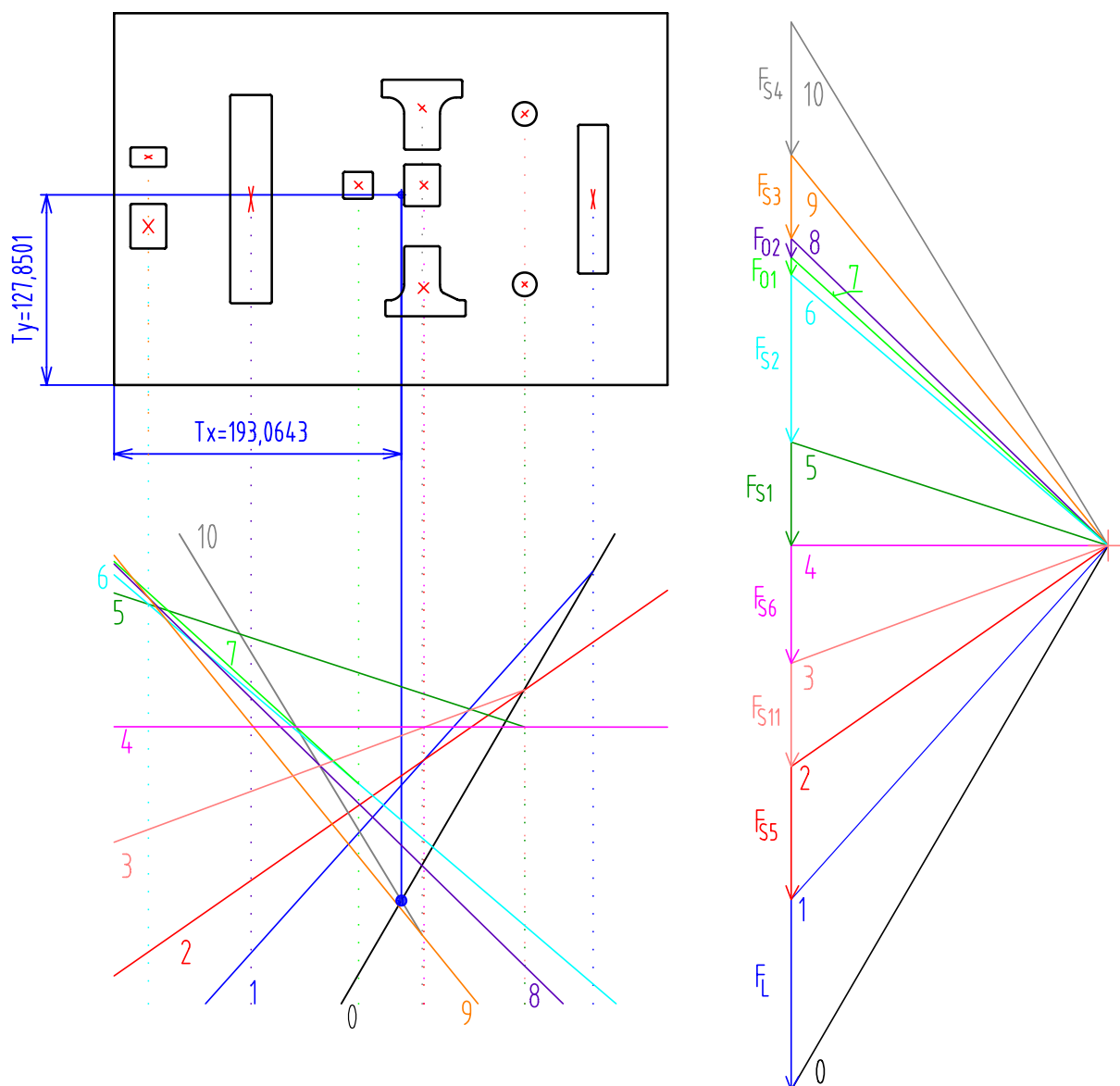
$$T_y = \frac{\sum_{n=1}^{10} F \cdot v_x}{\sum_{n=1}^{10} F} = \frac{80\,232\,811,81}{638\,087} = 125,7396 \quad [\text{mm}]$$

Výpočtem by se stopka umístila do vzdáleností  $T = [T_x, T_y] = [195,1976; 125,7396] \quad [\text{mm}]$ , které jsou vztaženy k rozměru kotevní desky. Vzhledem k horní upínací desce by vzdálenosti těžiště od daného okraje byly následující  $T = [279,1976; 230,7396] \quad [\text{mm}]$ .

## 5.4.2. Graficky



Obr. 5.5 Grafické znázornění těžiště  $T_y$



Obr. 5.6 Grafické znázornění těžiště  $T_x$

Grafickým znázorněním těžiště pro umístění stopky vyšlo následovně  $T = [193,0643; 127,8501]$  [mm]. Opět vzhledem k horní upínací desce se změnil na  $T = [277,0643; 232,8501]$ .

Porovnáním obou variant jsem zjistila, že se jednotlivé rozměry těžiště liší o nepatrné rozdíly, které jsou následující:

$$\Delta x = |279,1976 - 277,0643| = 2,1333 \text{ [mm]}$$

$$\Delta y = |230,7396 - 232,8501| = 2,1105 \text{ [mm]}$$

Osy horní upínací desky vzhledem k jejím okrajům:  $a = 270$  [mm]  
 $b = 230$  [mm]

A vzhledem k osám horní upínací desky a největším vzdálenostem variant těžišť jsou rozdíly následující:  $\Delta X = |270 - 277,0643| = 7,0643$  [mm]  
 $\Delta Y = |230 - 232,8501| = 2,8501$  [mm]

Pro tyto malé rozdíly mezi těžištěm a středem upínací desky jsem stopku umístila přímo do středu upínací desky. Máme 12 mm v obou směrech, od kterých se můžeme odchýlit, aniž by klopný moment vznikl. V mém případě se jedná o odchylky 7,0643 mm v ose  $x$  a 2,8501 mm v ose  $y$ .



## 5.5. VÝROBNÍ TOLERANCE FUNKČNÍCH ČÁSTÍ

Hodnoty výrobních tolerancí funkčních částí jsou stanoveny v souladu s tolerancí součásti, která je předepsána na výkrese. Jelikož daná součást není z vnějšího obrysu funkční částí, nejsou na rozměrovou přesnost kladny vysoké nároky.

Při výrobě se odstřihává odpad, to znamená, že z hlediska výpočtových vzorců pro stanovení výrobních rozměrů střížníku a střížnic se jedná o operaci děrování. Rozhodující rozměr má tedy střížník a v závislosti na rozměru střížníku se poté stanoví rozměr střížnice.

Součást je vyrobena ve třídě přesnosti IT 11 a tomu odpovídá výrobní tolerance střížníků a střížnice IT 8. Vzhledem již dříve zmíněným výrobním požadavkům, na výkrese nejsou výrobní tolerance zakótovány. Při výrobě střížníků se dosáhne rozměrů, které jsou dány tolerancemi uvedené normou v rohovém razítku.

Funkční rozměry střížnice nejsou na výrobním výkrese opět zakótovány, protože se vyrobí podle příslušných pozic střížníků zvětšené o vůli.

Otvory pro šrouby, kterými jsou střížníky upevněny k horní desce, jsou opět vyrobeny podle rozměrů desky, tak aby nevznikly problémy při montáži.

Výše uvedené opatření patří i pro kolíky a šrouby ve střížnicích, které se vyrobí podle desky, na kterých jsou jednotlivé funkční části připevněny. To znamená, že při takovéhle výrobě souvisí všechno se vším, aby mohlo dojít následně ke správné a bezproblémové montáži celého nástroje.

## 5.6. NÁVRH TVÁŘECÍHO STROJE

Pro určení velikosti a tedy jmenovité síly tvářecího stroje (lisu), je třeba znát všechny tvářecí nebo pomocné síly, které se vyskytují v pracovním chodu stroje.

Střížná síla:  $F_S = 502\,537,48\text{ N}$

Síla k vysunutí výstřížků (odpadu) ze střížnice:  $F_v = 38\,792,43\text{ N}$

Ohybová síla:  $F_{OU} = 21\,624,52\text{ N}$

Přítlačná síla u ohybu:  $F_p = 7\,084\text{ N}$

Lisovací síla:  $F_L = 121\,737\text{ N}$

---

**Celková síla:**

**$F_C = 691\,780,43\text{ N} = 692\text{ kN}$**

Pro vypočtenou celkovou sílu je třeba navrhnout takový lis, který bude vykazovat vyšší hodnotu jmenovité síly, aby nemohlo dojít k přetížení lisu při dokonalém vyhotovení součástí. Při návrhu je nutno dbát na jmenovitou sílu stroje, ale důležitými parametry jsou i některé rozměry lisu.

Zdvih Z [mm] – dráha beranu mezi úvratěmi.

Sevření H [mm] – vzdálenost mezi upínacími plochami stolu a beranu v jeho dolní úvratí (u výstředníkového lisu při největším zdvihu Z) s přestavitelností beranu E nahoře a s přestavitelností stolu E<sub>1</sub> dole.

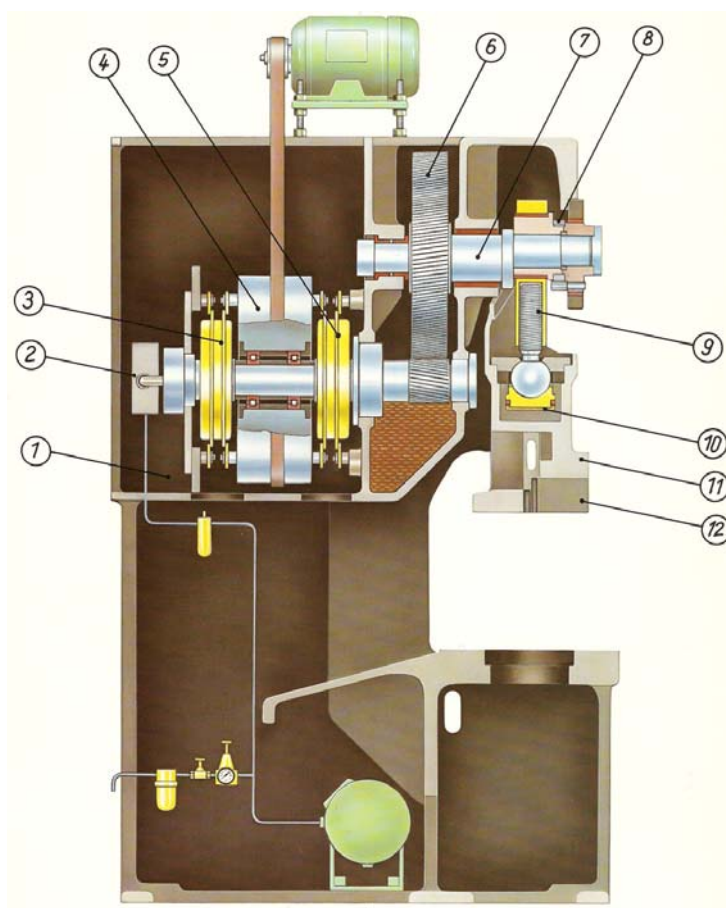
Upínací plocha (pracovní) stolu l<sub>1</sub> x b<sub>1</sub> a beranu l x b [mm] – pro upnutí nástroje, musí být větší než navržený stroj.

Pro celkovou sílu, která je potřebná na vyrobení součásti, navrhuji výstředníkový lis **WEINGARTEN ARP 80** o jmenovité síle 800 kN. Tento lis vyhovuje i potřebnými rozměrovými parametry. A lze nastavit jeho trvalý chod, to znamená možnost využití v automatizované výrobě. Ovšem v automatizované výrobě je podmínkou, aby byla z vnější strany mezi beranem a stolem lisu umístěna drátěná ochrana pro zvýšení bezpečnosti práce.

## **TECHNICKÉ PARAMETRY TVÁŘECÍHO STROJE**

Jmenovitá síla:	800	[kN]
Počet zdvihů beranu:	65	[min <sup>-1</sup> ]
Vyložení A:	345	[mm]
Průchod B:	500	[mm]
Sevření H:	360	[mm]
Zdvih beranu Z:	8 ÷ 112	[mm]
Přestavitelnost beranu E:	70	[mm]
Upínací dutina beranu Ød/k:	50/85	[mm]
Vyhazovací průchod:	55	[mm]
Upínací plocha beranu l x b:	650 x 400	[mm]
Upínací plocha stolu l <sub>1</sub> x b <sub>1</sub> :	840 x 610	[mm]
Propadový otvor ve stole:	φ 325	[mm]
Osazení v propadovém otvoru:	φ 365 x 45	[mm]
Příkon motoru:	7,5	[kW]
Otáčky:	1 500	[min <sup>-1</sup> ]
Výška lisu V:	3 040	[mm]
Šířka lisu S:	700	[mm]
Délka lisu L:	1 915	[mm]
Pracovní výška H <sub>1</sub> :	800	[mm]
Hmotnost lisu:	6 100	[kg]

1. hlava lisu
2. ventil
3. spojka a brzda
4. setrvačník
5. spojka a brzda
6. ozubené kolo
7. výstředníkový hřídel
8. změna délky zdvihu
9. přestavení beranu
10. pojistka proti přetížení
11. beran
12. upínací deska



Obr. 5.7 Řez lisem ARP 80

Všechny parametry a obrázek stroje jsou převzaty přímo z technické dokumentace lisu **WEINGARTEN ARP 80**.

V praxi je běžné, že se nástroje konstruují podle strojového parku zákazníka, který si nástroj objedná. To znamená, že při výrobě již víme, na jakém lise bude nástroj používán. Většinou je ovšem používaný stroj vzhledem k potřebné tvářecí síle předimenzován.

## 5.7. POPIS NÁSTROJE

Proto, aby součást byla celá vyrobena bez zbytečných operací, které zvyšují náklady (manipulace, seřizování, ...), sestrojila jsem postupový sdružený nástroj, který danou součást zcela vyrobí. Stručný popis konstrukce je uveden v následujících odstavcích.

Hlavní části nástroje, jako jsou střižnice, ohybnice a lisovnice, jsou dělené. To znamená, že spodní funkční části jsou rozděleny na vhodné segmenty, které se skládají k sobě a upevňují na jednotnou desku šrouby a kolíky. Toto opatření je výhodné jak z hlediska výroby (v případě jednoho kusu, by byla složitá výroba), tak z hlediska opotřebení nebo poškození některého funkčního otvoru. Při poškození se vymění jen určitá poškozená část a není třeba vyrábět celý spodní díl jako v případě použití celistvé spodní části. Střižníky, ohybníky a lisovníky jsou upevněny opět pomocí šroubů k horní desce.

Při stříhání by měl odpad zůstat ve fazetce střížnice nebo samovolně propadnout střížnicí pryč ze střížného nástroje. Ale vlivem maziva na plechu a deformací může nastat případ, že plech zůstane přilepen na střížníku a setře se o vodící desku. Pokud by se tak stalo, odpad zůstane v prostoru mezi střížníkem a střížnicí. Při následném sevření nástroje (pracovního procesu) může tento neodstraněný odpad způsobit špatně vystřižený nebo nedostřižený díl. V krajním případě může dojít i k poškození části nástroje. Proto jsou střížníky opatřeny odpruženými kolíky, které napomáhají k odlepení odstřiženého odpadu od střížníků při zdvihu nástroje, tedy ještě v otvoru ve střížnici. Zešíkmením střížných ploch větších střížníků dosáhnou snížení střížné síly.

Ustředění materiálu mezi pracovními částmi zajišťují vodící lišty, ve kterých je svitek materiálu veden. Krok je zajištěn pomocí podavače, takže v nástroji není použito žádných dorazů.

Vzhledem ke tvaru součásti, který je opatřen prolisem, bylo zapotřebí, aby nástroj obsahoval zvedací mechanismy. Tyto mechanismy se se zdvihem nástroje vysunou a vyzdvihnou stříhaný materiál do takové polohy, aby podavač mohl svitek bez problémů posunout o krok vpřed. Zároveň jsou zde přitlačné mechanismy, které při sevření nástroje přitlačí svitek opět k dolní části nástroje a až poté dojde k zahledání hledáčky za otvory a k provedení dalších operací (lisování prolisu, stříhům a ohybům). Zvedací i přitlačné mechanismy využívají pro splnění svých funkcí tlačných pružin.

Hlavní funkční části jsou vloženy do vodícího stojánu, který zajistí upnutí, vedení a vystředění nástroje v prostoru pracovního stroje (lisu). V horní části nástroje se nachází kotevní deska, kalená opěrná deska pro zachycení tlaků vyvolaných pracovním cyklem v jednotlivých nástrojích. Dále je zde upínací deska horní, ve které je umístěn otvor pro stopku, postranní výřezy pro případné upnutí šrouby. Pod touto deskou je umístěna horní deska, za kterou jsou upnuty střížníky, a spolu se spodní deskou je spojena vodícími sloupky.

Pro zabezpečení správného složení horní a dolní části nástroje (pootočení jedné části nástroje o 180 °C), jsou tři sloupky a pouzdra stejného průměru a jeden je menší. Ve spodní části nástroje je základová deska, za kterou se nástroj upíná ke stolu lisu. A spodní deska, ve které jsou již zmíněné sloupky.

Nástroj dále obsahuje jednoduché výškové dorazy, pro zamezení nežádoucího vniku horních funkčních nástrojů do spodních. Tento případ by mohl nastat při špatném seřízení pracovního zdvihu lisu, při manipulaci s nástrojem, při rozebírání nebo skladování. Při horní poloze nástroje je mezi výškovými dorazy mezera velikosti zdvihu. Tímto se nástroj stává obsluze nebezpečným a proto jsou v místě sevření dorazů umístěny plechové kryty. Na základové desce a upínací desce horní je umístěno celkem osm nosných čepů, které slouží pro jednodušší manipulaci.

Samovolné odejmutí součásti z prostoru nástroje je provedeno pomocí plechového skluzu, který je přišroubován na zešíkmenou kostku.

## 6. EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

V ekonomickém zhodnocení se pokusím vypočítat jednotlivé náklady, které se spojují s výrobou dané součásti. To znamená, že zahrnu do celkové ceny jedné vyrobené součásti nepřímé náklady ( tzn. náklady na nástroj) a přímé náklady (tzn. náklady na materiál, náklady na mzdy a náklady na energii. A další náklady, které se s výrobou spojují (výrobní režie, správní režie a zisk).

### 6.1. NEPŘÍMÉ NÁKLADY – NÁKLADY NA NÁSTROJ

Výrobní náklady nástroje, které jsou zobrazeny v níže uvedené tabulce, jsou téměř v souladu s výrobními náklady, za které by je vyrobila **firma Edscha Tools a.s. Jindřichův Hradec**.

Náklady, které jsou spojeny s výrobou nástroje se skládají z několika úseků a ty zahrnují konstrukci, materiál, modelování, technologii a výrobu.

Polotovary jsou na výkresech již zvětšené o přídatky na obrábění. Ale i přesto, dodavatel některé polotovary dodává alespoň o 20 % větší. Toto se děje z toho důvodu, že některé polotovary nejsou přesné a zaúhlované. Pokud bychom požadovali přesnější polotovary, odrazilo by se to na zvýšení ceny od dodavatele. Do úseku materiálu tedy patří nákup oceli, dále tepelné zpracování, normálie a doprava.

Tepelnému zpracování podléhají určité díly z tvářecího nástroje, u kterých je požadováno zušlechťování nebo cementace.

Mezi normálie (normalizované součásti) patří díly a součásti, které si výrobní podnik nástroje sám nevyrábí, ale nakupuje. Z obvyklých normalizovaných součástí to jsou šrouby a kolíky různých velikostí a provedení, podložky a pružiny. Z dalších normalizovaných součástí to jsou nosné čepy a stopka.

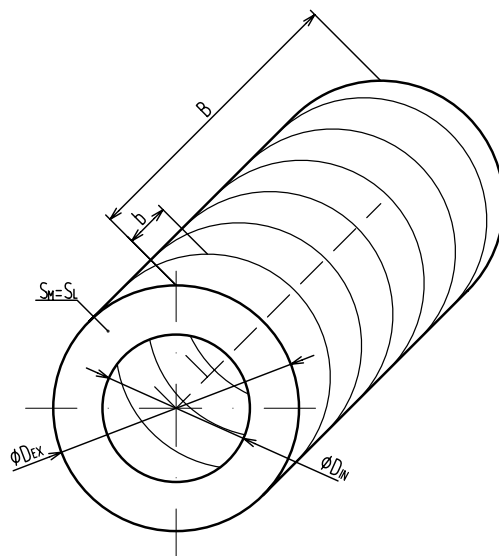
Největší položku z celkových výrobních nákladů činí výroba. V následující tabulce jsou podrobně rozepsány náklady v jednotlivých úsecích. Ve všech úsecích (kromě nákupu materiálu) je u každé výrobní operace uveden počet výrobních hodin a sazba za hodinovou práci, která zahrnuje zisk, amortizaci, režijní a fixní náklady.

NÁKLADY NA NÁSTROJ										
Konstrukce				h	Kč/h	Náklady Kč				
				160	480,00	76 800,00 Kč				
Materiál				kg	Kč/kg					
				Ocel	11 523	P	427,5	53,55	22 892,63	
					11 523	PLO	7,5	53,55	401,63	
					11 523	KR	4	53,55	214,20	
					11 500	PLO	16,5	31,69	522,89	
					11 500	KR	1	25,88	25,88	
					11 321	P	2,5	29,81	74,53	
					11 373	PLO	8	27,31	218,49	
					14220.1	KR	13	33,06	429,75	
					19 313.3	PLO	23	109,34	2 514,75	
					19 313.3	KR	1	58,43	58,43	
					19 573.3	PLO	56,5	148,75	8 404,38	
					19 573.3	KR	2	148,75	297,50	
										36 056 Kč
					Tepelné zpracování	14 220.1		13	120	1 560,00
19 313.3		24	120	2 880,00						
19 573.3		58,5	120	7 020,00						
11 373		4	120	480,00						
					11 940 Kč					
Normálie	šrouby, kolíky, podložky, stopka pružiny, nosné čepy				17 539,00 Kč					
Doprava			km	Kč/km						
			300	20	6 000,00 Kč					
CELKEM:						71 535,00 Kč				
Modelování, technologie				h	Kč/h	6 750,00 Kč				
				25	270,00					
Výroba			h	Kč/h						
	3D frézka		180	1 000,00	180 000,00					
	Drátořez		60	800,00	48 000,00					
	Erodování		10	600,00	6 000,00					
	CNC soustruh		20	400,00	8 000,00					
	2D frézky, konvenč. fr.		120	400,00	48 000,00					
	Vyvtávačka		50	400,00	20 000,00					
	Bruska na průměr		20	500,00	10 000,00					
	Bruska na plocho		120	500,00	60 000,00					
	Dělení materiálu		15	300,00	4 500,00					
	Montáž		100	400,00	40 000,00					
CELKEM:					424 500,00 Kč					
				CELKEM:	579 585,00 Kč					
				NABÍDKA:	580 000,00 Kč					

Tab. 6.1 Náklady na nástroj

## 6.2. PŘÍMÉ NÁKLADY

### 6.2.1. Náklady na materiál



Obr. 6.1 Schéma svitku pro výpočet

Můstek:  $e = 4 \text{ [mm]}$   
Okraje:  $f = 10 \text{ [mm]} \Rightarrow f/2 = 5 \text{ [mm]}$   
Krok:  $k = 46 \text{ [mm]}$   
Šířka pásu:  $b = 146 \text{ [mm]}$   
Využití materiálu:  $k_v = 49,35 \text{ [%]}$

		Mezní hodnoty	Podmínka
<b>Vstupní materiál</b>	Hmotnost – max. m [t]	30	—
	Vnější průměr – max. $D_{EX}$ [mm]	2000	—
	Vnitřní průměr $D_{IN}$ [mm]	490 až 505 590 až 830	—
	Šířka svitku – max. B [mm]	1600	900
<b>Výstupní materiál</b>	Hmotnost – max. m [t]	30	8,4
	Vnější průměr – max. $D_{EX}$ [mm]	2000	1 250
	Vnitřní průměr $D_{IN}$ [mm]	508 nebo 610	508
	Šířka svitku $B = 6 \times b$ [mm]	1600	$6 \times 146 \cong 876$

Tab. 6.2 Vstupní a výstupní parametry pro stanovení materiálu na celou sérii [12]

POZN.: Celková hmotnost 6 pásů svitků je omezena nosností jednostranného odvíjáku QOPJ 200/1400, který má nosnost 1 400 kg. Dále musím brát ohled na to, jaký největší průměr

můžu na odvíječku umístit. Ten je 1 250 mm. Proto musím tyto dvě hodnoty porovnat a podle výsledků použiji jako výchozí parametr hodnotu nosnosti nebo vnějšího průměru.

Výpočet  $D_{EX}$  z max. hmotnosti  $m = 1400$  kg:

$$\frac{D_{EX}^2 - D_{IN}^2}{4} \cdot \pi \cdot b = \frac{m}{\rho} \Rightarrow D_{EX} = \sqrt{\frac{4 \cdot m}{\rho \cdot \pi \cdot b} + D_{IN}^2} =$$

$$= \sqrt{\frac{4 \cdot 1400}{7,75 \cdot 10^{-6} \cdot \pi \cdot 146}} + 508^2 = \underline{\underline{1354 \text{ [mm]}}}$$

Výpočet hmotnosti  $m$  jednoho pásu svitku z max  $D_{EX} = 1250$  mm:

$$m = \rho \cdot V = \rho \cdot \frac{D_{EX}^2 - D_{IN}^2}{4} \cdot \pi \cdot b = 7,75 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{1250^2 - 508^2}{4} \cdot \pi \cdot 146 = \underline{\underline{1160 \text{ [kg]}}} =$$

$$= 1,16 \text{ [t]}$$

Dle výše uvedených výpočtů jsem vypočetla vnější průměr svitku, který bude o hmotnosti  $m = 1400$  kg. Průměr ovšem přesahuje maximální hodnotu průměru, který lze použít na odvíjaku. Proto jsem výpočet musela přepočítat za pomoci maximálně využitelného vnějšího průměru. Z toho jsem poté dostala hmotnost jednoho svitku pásu, který je 1,16 t.

Konečná plocha mezikruží svitku tedy je:

$$S_M = \frac{(D_{EX}^2 - D_{IN}^2) \cdot \pi}{4} = \frac{(1250^2 - 508^2) \cdot \pi}{4} = \underline{\underline{1024501,639 \text{ [mm}^2\text{]}}}$$

Délka jednoho pásu svitku:

$$S_M = S_L$$

$$S_L = \bar{L} \cdot t$$

$$\bar{L} = \frac{S_M}{t} = \frac{1024501,639}{3} \cong \underline{\underline{341500 \text{ [mm]}}} \cong \underline{\underline{341,5 \text{ [m]}}}$$

Počet výstřížků z jednoho pásu svitku:

$$n = \frac{\bar{L} - e}{k} = \frac{341500 - 4}{46} = \underline{\underline{7423 \text{ výstřížků}}}$$

Počet pásů svitku na jednom kole:

$$q = \frac{B}{b} = \frac{900}{146} \cong \underline{\underline{6 \text{ pásů}}}$$

Hmotnost svitků na jednom kole:

$$m_C = m \cdot q = 1160 \cdot 6 = \underline{\underline{6960 \text{ [kg]}}} = \underline{\underline{6,96 \text{ [t]}}}$$



Počet pásů na celou sérii:

$$q_c = \frac{\text{série}}{n} = \frac{600\,000}{7\,423} \cong \underline{\underline{89 \text{ pásů svitku}}}$$

Dodavatel bude svitky plechu dodávat na rolích po 6 pásech o šířce  $b = 146 \text{ mm}$ . Z toho vyplývá výpočet pro celkový počet rolí s pásy svitku, které musí dodavatel zajistit.

Počet rolí se svitky pásů:

$$p = \frac{q_c}{q} = \frac{89}{6} = \underline{\underline{14,8 \text{ rolí}}} \Rightarrow 14 \text{ rolí po 6ti pásech a jedna s 5ti pásy}$$

Cena materiálu je odvozena z celkové výrobní série, která byla požadována. Při výpočtu jsem vycházela z ceny jednoho kg za svitek plechu S420MC. Podle výše uvedených vzorců jsem vypočetla hmotnost svitku. Tím jsem dostala celkovou cenu za jeden svitek. Tato hodnota však není konečná, protože mám požadavek na dělení svitku na dílčí podélné části. Tímto se cena za svitek zvýší o deset procent z hmotnosti svitku.

Celková cena za materiál je poté závislá na celkovém počtu svitků, které je třeba nakoupit, aby daná série mohla být vyrobena.

NÁKLADY NA MATERIÁL			
Název	Výpočet	Hodnota	Jednotky
SVITEK PLECHU		26,347	Kč/kg
Hmotnost svitku o šířce B = 876 mm		6 960,00	kg
<b>Cena jednoho svitku</b>	$26,347 \cdot 6\,960$	<b>183 375</b>	<b>Kč</b>
Dělení svitku		1,1	Kč/kg
<b>Cena za dělení jednoho svitku</b>	$1,1 \cdot 6\,960$	<b>7 656</b>	<b>Kč</b>
<b>Celková cena za dělený svitek</b>	$183\,375 + 7\,656$	<b>191 031</b>	<b>Kč</b>
<b>Celková cena na sérii</b>	$15 \cdot 191\,031$	<b>2 865 467</b>	<b>Kč</b>
<b>Podíl ceny na jednu součást v Kč/ks</b>	$\frac{2\,865 \cdot 467}{600\,000}$	<b>4,776</b>	<b>Kč/ks</b>

Tab. 6.3 Náklady na materiál

### 6.2.2. Náklady na energii

Náklady na energii jsem vypočetla jednoduše z příkonu každého stroje a ceny za kWh, které jsem vztáhla na jednicový kus výroby. Po vynásobení s celkovou sérií jsem dostala celkové náklady na energii jednoho stroje.

NÁKLADY NA ENERGII					
STROJ NEBO ZAŘÍZENÍ	Parametry	Vzorec	Hodnoty	Jednotky	Na sérii 600 000 ks
LIS ARP 80	Příkon P		7,5	kW	
	Cena energie		3,2	Kč/kWh	
	Náklady	$\frac{7,5 \cdot 3,2}{2\,993}$	0,008019	Kč/ks	4811,4 Kč
JEDNORAMENNÝ ODVIJÁK QOPJ 250/1400	Příkon P		0,55	kW	
	Cena energie		3,2	Kč/kWh	
	Náklady	$\frac{0,55 \cdot 3,2}{2\,993}$	0,000588	Kč/ks	352,8 Kč
PODÁVACÍ ROVNAČKA QPRM 300/6	Příkon P		3,3	kW	
	Cena energie		3,2	Kč/kWh	
	Náklady	$\frac{3,3 \cdot 3,2}{2\,993}$	0,003528	Kč/ks	2116,8 Kč
MAZACÍ ZAŘÍZENÍ	Příkon P		1	kW	
	Cena energie		3,2	Kč/kWh	
	Náklady	$\frac{1 \cdot 3,2}{2\,993}$	0,001069	Kč/ks	641,4 Kč
CELKOVÉ NÁKLADY NA ENERGII			$\Sigma$ 0,013204	Kč/ks	7922,4 Kč

Pozn.: hodnota 2 993 vyjadřuje vyrobených ks/h

Tab. 6.4 Náklady na energii

### 6.2.3. Náklady na mzdy

Do nákladů mezd jsem zahrнула jednoho zaměstnance, který se bude na výrobě podílet. Ten zastane veškerou potřebnou práci a byl tedy ohodnocen 120 Kč/h. Po propočtech, které jsou uvedeny v tabulce s náklady na mzdy, jsem došla k výsledku, že podíl mezd na jednom výrobku je 0,04 Kč.

NÁKLADY NA MZDY			
Parametr	Výpočet	Hodnota	Jednotka
Hodinová mzda		120	Kč/h
Takt lisu		65	ks/min
Teoretický počet kusů za hodinu	$65 \cdot 60$	3 900	ks/h
Kusů ze svitku		7 423	ks

Teoretický čas pro zpracování 1 svítku	$\frac{7\,423}{3\,900}$	1,9	h
Výměna svítku, zavedení pásu, kontrola, opravy, údržba		0,58	h
Skutečný čas spracování 1 svítku	1,9 + 0,58	2,48	h
Skutečně vyrobených ks/h	$\frac{7\,423}{2,48}$	2 993	ks/h
<b>Podíl mezd na ks</b>	$\frac{120}{2\,993}$	<b>0,04</b>	<b>Kč/ks</b>
<b>Na sérii</b>	0,04 · 600 000	<b>24 000</b>	<b>Kč</b>

Tab. 6.5 Náklady na mzdy

### 6.3. CENA JEDNÉ VYROBENÉ SOUČÁSTI

Celková cena jedné vyrobené součásti a cena celková za celou sérii je uvedena v následující tabulce.

KALKULAČNÍ VZOREC – předběžná kalkulace					
NÁKLADY NA JEDNU SOUČÁST					
Č. p.	Druh nákladu	Další dělení	Kč/ks	Na sérii 600000 ks v Kč	Poznámka
1	Náklady za nástroj		0,967	580 000	
2	Přímý materiál		4,776	2 865 600	
3	Přímé mzdy		0,04	24 000	
4	Ostatní přímé náklady		0,014	8 400	SP, ZP (35 % z mezd)
5	Výrobní režie	energie	0,0072	4 320	
6		ostatní	0,6	360 000	
7			<b>0,6072</b>	<b>364320</b>	součet položek 5 + 6
<b>8</b>	<b>Vlastní náklady výroby</b>		<b>6,410</b>	<b>3 842 320</b>	<b>součet položek 1 + 2 + 3 + 4 + 7</b>
9	Správní režie		0,032	19200	80 % z přímých mezd
<b>10</b>	<b>Vlastní náklady výkonu</b>		<b>6,450</b>	<b>3 861 520</b>	<b>součet položek 8 + 9</b>
11	Odbytová režie		0,6	360 000	
<b>12</b>	<b>Úplné vlastní náklady</b>		<b>7,050</b>	<b>4 221 520</b>	<b>součet položek 10 + 11</b>
13	Zisk		1,560	936 000	22 % z úplných vlastních nákladů
<b>14</b>	<b>Prodejní cena bez DPH</b>		<b>8,610</b>	<b>5 157 520</b>	<b>součet položek 12 + 13</b>
15	DPH		1,640	979 928,8	19 %.
<b>16</b>	<b>Prodejní cena s DPH</b>		<b>10,25</b>	<b>6 137 449</b>	<b>součet položek 14 + 15</b>

Tab. 6.6 Náklady na součást a sérii

## 7. ZÁVĚR

Téma diplomové práce znělo: *Výroba součástí plošným tvářením*. Zadaným materiálem, ze kterého měla být součást vyrobena, byl S420MC. Proto jsem při zpracování práce nehodnotila součást z hlediska výroby za pomoci jiné technologie (kování, odlévání atd.). Podle různých zdrojů z internetu jsem usoudila, že se jedná o materiál (plech), který je pro vhodný tvářením za studena. Na základě materiálu a vzhledu tvaru součásti jsem rozhodla o možných technologiích, kterými by se součást mohla vyrobit. Z technologií plošného tvářením to je stříhání, ohýbání a zhotovení prolisu (možno nazvat jako prolisování nebo reliéfní tvářením). První varianty byly zaměřeny na technologičnost a využití materiálu, to znamená, že jsem použila různé varianty uspořádání součástí na různé polotovary, jako jsou pásy nastříhané z tabule plechu, svitky nebo celé tabule plechu. Již v této fázi jsem brala ohled na to, zda je možné součást vyrobit některou technologií z navrženého druhu polotovaru.

Dále jsem se zabývala technologičnost při ohýbání a při stříhání v nástrojích. Jelikož při použití těchto způsobů vznikají nedostatky specifické pro danou technologii, byla jsem nucena držet se doporučení, která nedostatky vyeliminují. Pokud by se nedostatkům nedalo zabránit, musela jsem zvažovat, zda pro danou součást tyto nedostatky nevedí. Všechna opatření součást splnila, a proto jsem ji nemusela nijak upravovat.

Následně jsem se zabývala literární studií, zaměřující se na mnou již uvedené technologie, tedy stříhání, ohýbání a jen okrajově vytváření prolisu. I když se vytváření prolisů pro zvýšení tuhosti ve strojírenství používá ve velké míře, nabyla jsem dojmu, že se odborná literatura zabývá touto problematikou jen zřídka. Literární studii jsem poté vypracovala tak, abych mohla využívat poznatky při návrhu konstrukčního řešení nástroje.

Před stanovením konečné varianty, pro kterou nástroj zkonstruuji, jsem navrhla i další, které v sobě obsahovaly výrobní postup včetně jednotlivých druhů technologií. V potaz jsem brala také skutečnost, že součást může být vyrobena v jednom nebo v několika nástrojích. Uvažovala jsem i o tom, že v případě výroby v několika nástrojích je možno rozvinuté obrysy součásti řezat paprskem vody, laserem atd. nebo vysekávat na vysekávacím lisu a ne je pouze stříhat v nástroji.

Po dalším zvažování, kdy jsem zhodnotila všechna pro a proti u jednotlivých způsobů výroby, jsem došla k závěrům, které vyústily ve varianty II a IV. Ty využívají svitek plechu, to znamená, že nástrojem by byl postupový nástroj. Tyto postupy jsem zhodnotila jako nejvhodnější pro vyráběnou sérii 600 000 ks/rok. Jelikož je operace vytvářející prolis zařazena do výrobního postupu jako první, nemusela jsem se zabývat možným zúžením součásti vlivem prolisu. V jednotlivých nástrojích by mohlo dojít k zúžení, protože celkový obrys je již vystřížen nebo vyřezán před touto operací. Zamezením bychom dosáhli přesným spočtením rozvinu a polotovar by se o tuto hodnotu zvětšil. Přes tyto a další výhody, které jsou uvedeny v textu u jednotlivých postupů, jsem se tedy rozhodla pro návrh výroby postupového sdruženého nástroje.

I poté jsem navrhla několik výrobních postupů v nástroji. Ve třech variantách jsem využila způsob IV a v jedné II. Všechny druhy jsou v mnoha ohledech podobné, mění se tvary funkčních částí a místa, kde se ponechávají okraje nebo můstky pro soudržnost součástí mezi sebou. Nakonec jsem se rozhodla pro variantu B, která se mi jevila z hlediska výroby nástroje nejprijatelnější. Z hlediska vzhledu by nejvíce přicházela v úvahu varianta D, která má lepší využití materiálu, ovšem cena nástroje by byla mnohem nákladnější než v případě varianty B. Nástroj by byl složitější jak na výrobu, tak na údržbu. Dalším důvodem pro volbu tohoto nástroje je spjatost s použitím stroje. To znamená, že pokud jsem zvolila na vyrobený nástroj lis **ARP 80**, nebylo by možno použít tento lis i na variantu D, protože by bylo zapotřebí dvakrát větší síly. A jak jsem uvedla již dříve, nástroje se většinou konstruují přímo na

velikost lisu. Proto pokud podnik větší lis nevlastní, nemohl by nástroj podle varianty D použít.

Při výpočtech jsem se držela všeobecně používaných vztahů, které se týkají tváření. V případě výpočtů ohýbacích sil jsem musela vztahy upravit tak, abych vzhledově ohyb „V“ počítala pomocí vztahu pro ohyb „U“.

Sdružený postupový nástroj jsem poté zkonstruovala jednak po konzultacích s vedoucím práce, jednak po konzultacích ve firmě Edscha Tools a.s. Jindřichův Hradec. Tam jsem se částečně seznámila s tím, jak se takový nástroj konstruuje a co vše s jeho výrobou souvisí. I když jsem některé poznatky při konstrukci tvářecího nástroje nevyužila a některé části jsem provedla dle svého uvážení, odborné konzultace ve firmě byly pro mě velkým přínosem.

V závěru práce jsem vypočetla náklady na výrobu jedné součásti a celé série a tím se pokusila o ekonomické zhodnocení. Pokud by bylo více času, vyčíslila bych náklady na variantu D, s níž bych nakonec porovнала mnou vyrobený nástroj. Podle mého odhadu by byl nástroj D asi dvakrát dražší, ale náklady na materiál součásti o jednu třetinu nižší. Pro celkovou sérii 600 000 ks/rok se tudíž náklady na jednu součást u obou variant mnoho neliší. Pokud by se série opakovala, zvolila bych na výrobu složitější nástroj s menší spotřebou opakovatelného materiálu, kterého je zapotřebí na výrobu součásti.

Cílem této diplomové práce bylo zkonstruovat výrobní nástroj, který by byl v praxi použitelný pro danou výrobu. Některé části nástroje by se daly realizovat jiným způsobem, avšak já jsem se rozhodla použít nejjednodušších a mně známých prvků. Tato studie by mohla být přínosným vodítkem pro řešitele podobných úkolů.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BLAŠČÍK, František, POLÁK, Karol. *Teória tvarovania*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1985. 376 s.
- [2] BAREŠ, Karel, et al. *Lisování*. Redaktor Jindřich Klůna. 1. vyd. Praha: SNTL, 1971. 544 s., 10 výkresů pod páskou.
- [3] KOTOUČ, Jiří. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Praha: ČVUT Praha, 1993. 349 s. ISBN 80-01-01003-1.
- [4] KOČMAN, Karel. *Aktuální příručka pro technický úsek*. Praha: Dashöfer, 2001. 150 s. ISBN 80-902247-2-5
- [5] KRÍŽ, Rudolf. *Strojírenská příručka 8. svazek: Tváření*. 1. vyd. Praha: Scientia, 1998. 255 s. ISBN 80-7183-054-2
- [6] MARCINIAK, Zdzislaw. *Teorie tváření plechů*. Redaktorka Ludmila Macourková; Věslav Jandura. 1. vyd. Praha: SNTL, 1964. 259 s.
- [7] ČSN 22 6015 *Lisovací nástroje STŘIHADLA A STŘIŽNÉ VŮLE: Směrnice pro výpočet a konstrukci*. 1. vyd. Praha: ÚNM, 1977. 28 s.
- [8] FOREJT, Milan. *Teorie tváření*. 2. vyd. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, 2004. 167 s. ISBN 80-214-2764-7.
- [9] LEINVEBER, Jan, ŘASA, Jaroslav, VÁVRA, Pavel. *Strojnické tabulky: Upravené a doplněné vydání*. 3. vyd. [s.l.]: [s.n.], 1999. 985 s. ISBN 80-7183-164-6.
- [10] NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. VUT. 1. vyd. Brno: VUT, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
- [11] ROMANOVSKIJ, V. P. *Příručka pro lisování za studena*. Praha: SNTL, 1959. 537 s.
- [12] *Ferona, a.s. : Ferona - Dělicí centrum* [online]. c2004 [cit. 2008-04-18]. Dostupný z WWW: <<http://62.168.62.45/cze/sluzby/fdc.php>>.
- [13] *Bohdan Bolzano* [online]. c1998-2004 [cit. 2008-03-15]. Dostupný z WWW: <[http://www.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-priručka/konstrukci\\_oceli/normy\\_tdp/EN10149/](http://www.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-priručka/konstrukci_oceli/normy_tdp/EN10149/)>.
- [14] FREMUNT, P, KREJČÍK, J, PODRÁBSKÝ, T. *Nástrojové oceli*. Brno: Dům techniky, 1994. 229 s.
- [15] ČSN 22 7340 *Tvářecí nástroje OHÝBADLA: Všeobecné požadavky na konstrukci a výpočet*. Praha: Vydavatelství norem, 1991. 16 s.
- [16] NOVOTNÝ, Josef, LANGER, Zdeněk. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. 1. vyd. Praha : SNTL, 1980. 216 s.
- [17] TOMA INDUSTRIES s.r.o. [online]. Slovensko : c2006 [cit. 2008-05-17]. Slovenština, angličtina, němčina. Dostupný z WWW: <[http://www.toma.sk/vyrprog\\_produkty\\_automzar.htm](http://www.toma.sk/vyrprog_produkty_automzar.htm)>.
- [18] AMBROŽ, O., HORÁČEK, M., MACHÁČEK, Z. *Technologie slévání, tváření a spojování : Laboratorní cvičení*. 1. vyd. Brno : Vysoké učení technické v Brně, 1989. 92 s. ISBN 80-214-0043-9.
- [19] NOVOTNÝ, KAREL. *Výrobní stroje a zařízení: Tvářecí stroje*. [s.l.]: [s.n.], 2002. 27 s. Dostupný z WWW: <<http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory.htm>>.

## SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN

$\alpha$	[°]	úhel ohybu
$\alpha_1$	[°]	nutný úhel ohybu
$\alpha_2$	[°]	požadovaný úhel ohybu
$\beta$	[°]	úhel odpružení
$\varepsilon$	[-]	mezní prodloužení
$\varepsilon_{1,2,3}$	[-]	hlavní přetvoření
$\mu$	[-]	Poissonovo číslo
$\rho_n$	[mm]	poloha neutrální vrstvy (plochy)
$\sigma_{1,2,3}$	[MPa]	hlavní napětí
$\sigma_n$	[MPa]	normální napětí
$\tau_{\max}$	[MPa]	maximální smykové napětí
$\varphi$	[°]	úhel ohnutého úseku
$A$	[J]	střižná práce
$A_{OU}$	[J]	ohybová práce do tvaru U
$A_{OV}$	[J]	ohybová práce do tvaru V
$b$	[mm]	šířka pásu svitku
$B$	[mm]	šířka tabule nebo celého svitku plechu
$c$	[-]	součinitel dle druhu materiálu
$e$	[mm]	můstek mezi dvěma součástmi
$E$	[MPa]	modul pružnosti
$f$	[mm]	okraj mezi součástmi a krajem plechu
$F_{OU}$	[N]	ohybová síla do tvaru U
$F_{OV}$	[N]	ohybová síla do tvaru V
$F_P$	[N]	přidržovací síla
$F_S$	[N]	střižná síla
$F_u$	[N]	síla k setření mat. ze střižníku
$F_v$	[N]	síla k vysunutí výstřižku ze střižnice
$h$	[mm]	hloubka dutiny v ohybnici
$I$	[mm <sup>4</sup> ]	moment setrvačnosti
$K$	[-]	koeficient určující odpružení
$k$	[mm]	krok mezi dvěma součástmi
$k_s$	[MPa]	střižný odpor
$l$	[mm]	vzdálenost mezi opěrami ohybnice
$l_{KR}$	[mm]	kritická délka střižníku
$l_m$	[mm]	vzdálenost mezi poloměry ohybníku a ohybnice
$L$	[mm]	délka tabule nebo celého svitku
$m$	[-]	koeficient zaplnění diagramu
$n$	[-]	koeficient opotřebení nástroje
$O$	[mm]	obvod stříhu
$r_m$	[mm]	poloměr ohybnice
$r_p$	[mm]	poloměr ohybníku
$R_1$	[mm]	nutný poloměr ohybu
$R_2$	[mm]	požadovaný úhel ohybu
$R_e$	[MPa]	mez kluzu
$R_m$	[MPa]	mez pevnosti v tahu
$R_{\max}$	[mm]	maximální poloměr ohybu
$R_{\min}$	[mm]	minimální poloměr ohybu
$R_O$	[mm]	poloměr ohybu

S	[mm <sup>2</sup> ]	plocha stříhu
S <sub>p</sub>	[mm <sup>2</sup> ]	plocha polotovaru
S <sub>v</sub>	[mm <sup>2</sup> ]	plocha výstřížku
t	[mm]	tloušťka materiálu polotovaru
T <sub>x</sub>	[mm]	souřadnice těžiště na ose x
T <sub>y</sub>	[mm]	souřadnice těžiště na ose y
v	[mm]	vůle
x	[mm]	součinitel posunutí neutrální vrstvy
z	[mm]	mezera



## SEZNAM PŘÍLOH

### PŘÍLOHA 1 – Střížné vûle

Tab. 1 Universální střížná vûle

Tab. 2 Lineární střížná vûle

Tab. 3 Progresivní střížná vûle

Tab. 4 Progresivní střížná vûle

### PŘÍLOHA 2 – Doporučené hodnoty koeficientu $c$

### PŘÍLOHA 3 – Číselné hodnoty tolerancí

### PŘÍLOHA 4 – Dosažitelné přesnosti výstřížků a tvarových otvorů

### PŘÍLOHA 5 – Závislost mezi střížným odporem $k_s$ a pevností v tahu $\sigma_{Pt}$

### PŘÍLOHA 6 – Koeficient $k$

### PŘÍLOHA 7 – Koeficienty $k_{eu}$ a $k_{ev}$

### PŘÍLOHA 8 – Diagramy pro určení velikosti přepážky

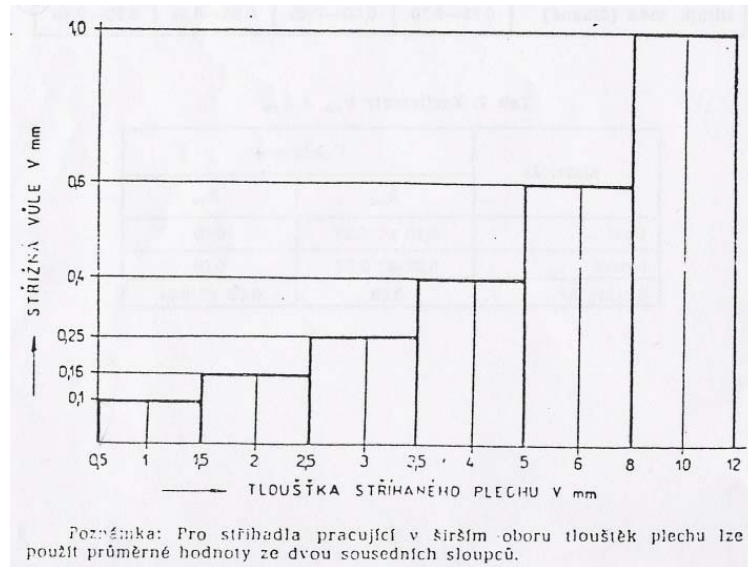
### PŘÍLOHA 9 – Jednostranný odviják QOPJ 250 / 1400

### PŘÍLOHA 10 – Podávací rovnáčka QPRM 300 / 6

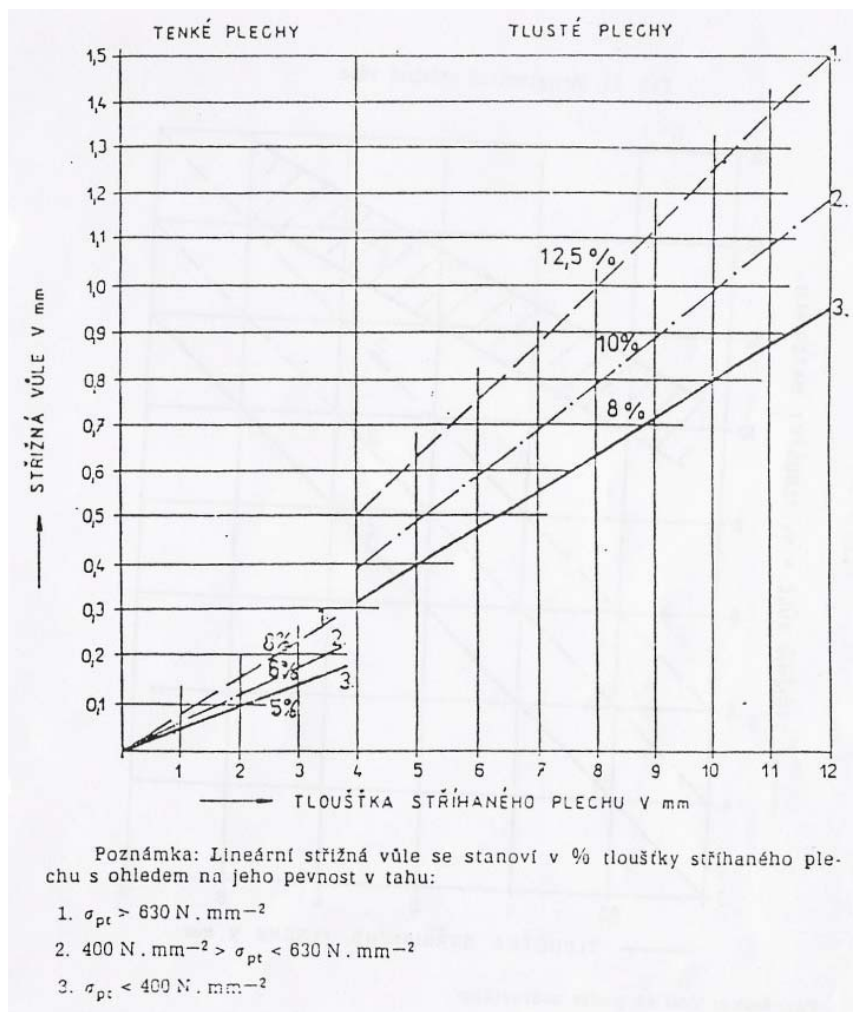
### PŘÍLOHA 11

Výkres součástí:	TÁHLO	V-DP-A4-00
Výkres sestavy:	TVÁŘECÍ NÁSTROJ	DP-A0-00
Kusovník:	TVÁŘECÍ NÁSTROJ	K-DP-A4-00
		list 1 – 6
Výrobní výkres:	STŘIŽNICE	DP-A3-10
	HLEDÁČEK	DP-A4-25
	STŘIŽNÍK TVAROVÝ 1	DP-A4-27
	STŘIŽNÍK TVAROVÝ 2	DP-A3-28
	STŘIŽNÍK TVAROVÝ 3	DP-A4-29

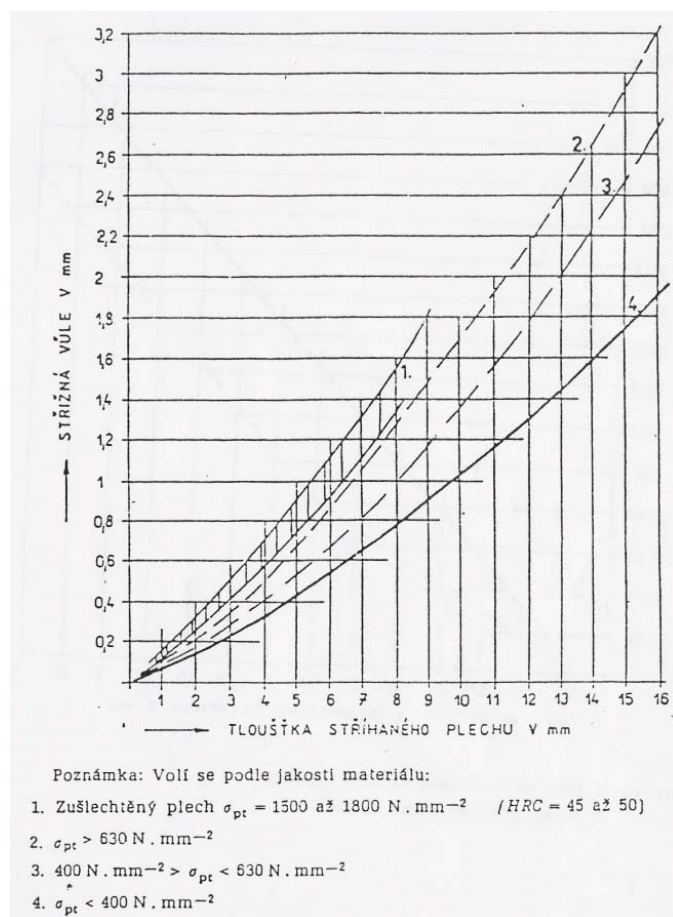
## PŘÍLOHA 1 – Střížné vůle [7]



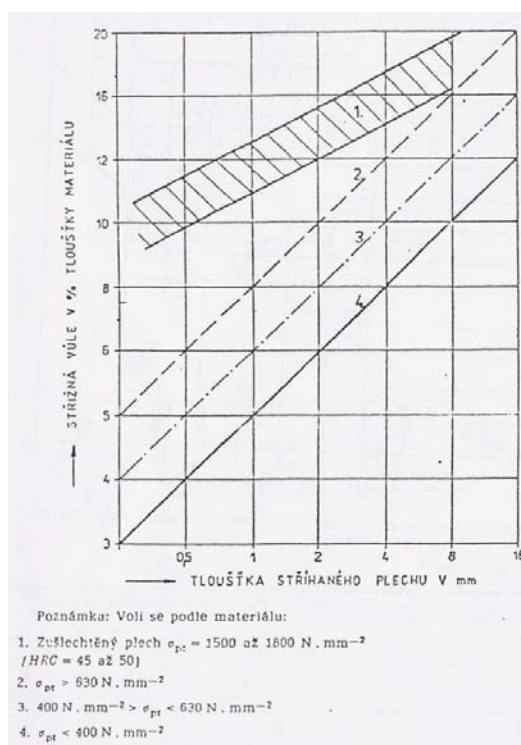
**Tab. 1** Universální střížná vůle



**Tab. 2** Lineární střížná vůle

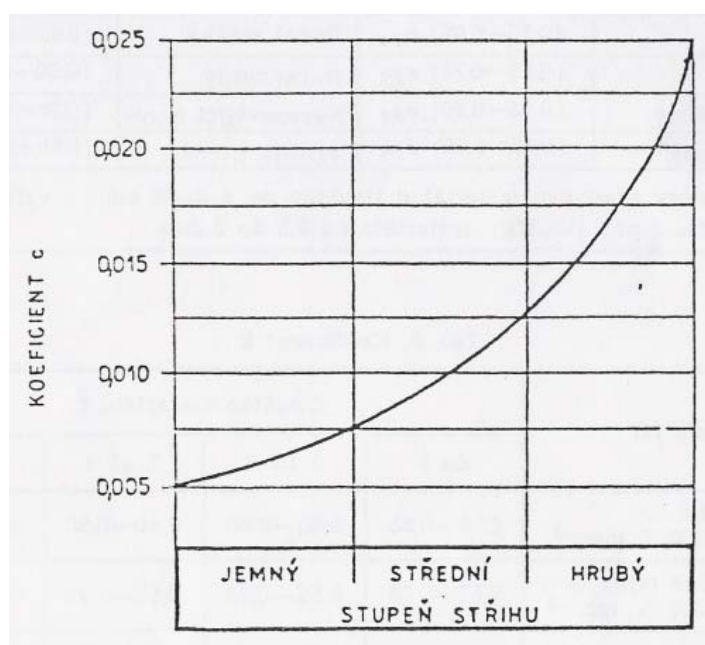


**Tab. 3 Progresivní střížná vůle**



**Tab. 4 Progresivní střížná vůle**

## PŘÍLOHA 2 – Doporučené hodnoty koeficientu $c$ [7]



### PŘÍLOHA 3 – Číselné hodnoty tolerancí [9]

Stupeň přesnosti IT		01	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Rozsah rozměrů [mm]	do 3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14
	přes 3 do 6	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18
	přes 6 do 10	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22
	přes 10 do 18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27
	přes 18 do 30	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33
	přes 30 do 50	0,6	1,1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39
	přes 50 do 80	0,8	1,2	2	3	5	8	13	19	30	46
	přes 80 do 120	1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54
	přes 120 do 180	1,2	2	3,5	5	8	12	18	25	40	63
	přes 180 do 250	2	3	4,7	7	10	14	20	29	46	72
	přes 250 do 315	2,5	4	6	8	12	16	23	32	52	81
	přes 315 do 400	3	5	7	9	13	8	25	36	57	89
	přes 400 do 500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97
hodnoty v $\mu\text{m}$											

Stupeň přesnosti IT		9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Rozsah rozměrů [mm]	do 3	25	40	60	100	140	250	400	600	1 000	1 400
	přes 3 do 6	30	48	75	120	180	300	480	750	1 200	1 800
	přes 6 do 10	36	58	90	150	220	360	580	900	1 500	2 200
	přes 10 do 18	43	70	110	180	270	430	700	1 100	1 800	2 700
	přes 18 do 30	52	84	130	210	330	520	840	1 300	2 100	3 300
	přes 30 do 50	62	100	160	250	390	620	1 000	1 600	2 500	3 900
	přes 50 do 80	74	120	190	300	460	740	1 200	1 900	3 000	4 600
	přes 80 do 120	87	140	220	350	540	870	1 400	2 200	3 500	5 400
	přes 120 do 180	100	160	250	400	630	1 000	1 600	2 500	4 000	6 300
	přes 180 do 250	115	185	290	460	720	1 150	1 850	2 900	4 600	7 200
	přes 250 do 315	130	210	320	520	810	1 300	2 100	3 200	5 200	8 100
	přes 315 do 400	140	230	360	570	890	1 400	2 300	3 600	5 700	8 900
	přes 400 do 500	155	250	400	630	970	1 550	2 500	4 000	6 300	9 700
hodnoty v $\mu\text{m}$											

## PŘÍLOHA 4 – Dosažitelné přesnosti výstřížků a tvarových otvorů [7]

Tloušťka plechu		Délka výstřížku							
		do 50		50 ÷ 120		120 ÷ 260		260 ÷ 500	
0,2	0,5	0,10	0,03	0,15	0,05	0,20	0,08	0,30	0,10
0,5	1	0,15	0,04	0,20	0,06	0,30	0,10	0,40	0,15
1	2	0,20	0,06	0,30	0,10	0,40	0,12	0,50	0,15
2	3	0,30	0,10	0,40	0,12	0,50	0,15	0,60	0,20
3	4	0,40	0,20	0,50	0,25	0,60	0,30	0,80	0,35
4	6	0,50	0,30	0,60	0,40	0,80	0,50	1,00	0,70
6	10	0,70	0,50	0,80	0,50	1,00	0,70	1,20	0,80
od	do	od	do	od	do	od	do	od	do
Tolerance rozměrů v mm									
Hodnoty tolerancí jsou doporučené									

Tloušťka děrovacího plechu		Průměr otvoru					
		do 10		10 ÷ 50		50 ÷ 100	
0,2	1	0,06	0,02	0,08	0,04	0,10	0,08
1	4	0,08	0,03	0,10	0,06	0,12	0,10
4	10	0,10	0,06	0,12	0,10	0,15	0,14
od	do	od	do	od	do	od	do
Tolerance průměrů v mm							
Hodnoty tolerancí jsou doporučené							
Poznámka: větší přesnosti lze dosáhnout speciálními způsoby stříhání (ostřížení, stříh s nátlakovou hranou apod.).							

Tloušťka děrovaného plechu		Vzdálenost mezi otvory					
		do 50		50 ÷ 150		150 ÷ 300	
–	1	0,10	0,03	0,15	0,05	0,20	0,08
1	2	0,12	0,04	0,20	0,06	0,30	0,10
2	4	0,15	0,06	0,25	0,08	0,35	0,12
4	6	0,20	0,08	0,30	0,10	0,40	0,15
od	do	od	do	od	do	od	do
Tolerance roztečí ± v mm							
Hodnoty tolerancí jsou doporučené							

Tloušťka děrovaného plechu		Vzdálenost otvoru od okraje výstřížků					
		do 50		50 ÷ 150		150 ÷ 300	
–	1	0,50	0,25	0,50	0,30	0,70	0,35
1	2	0,50	0,25	0,60	0,30	0,70	0,35
2	4	0,60	0,30	0,70	0,35	0,80	0,40
4	6	0,70	0,35	0,80	0,40	1,00	0,60
od	do	od	do	od	do	od	do
Tolerance vzdálenosti ± v mm							
Hodnoty tolerancí jsou doporučené							

## PŘÍLOHA 5 – Závislost mezi střížným odporem $k_s$ a pevností v tahu $R_m$ [7]

Materiál	Střížný odpor $k_s$ [MPa]	Materiál	Střížný odpor $k_s$ [MPa]
Ocel	$(0,75 \div 0,90) R_m$	Dural měkký	$(0,65 \div 0,75) R_m$
Mosaz	$(0,65 \div 0,75) R_m$	Dural tvrdý	$(0,60 \div 0,65) R_m$
Hliník měkký	$(0,75 \div 0,90) R_m$	Nerezavějící oceli	$(0,68 \div 0,72) R_m$
Hliník tvrdý	$(0,55 \div 0,70) R_m$	Slitiny titanu	$(0,65 \div 0,70) R_m$
Nižší hodnoty platí pro materiál o tloušťce od 2 do 4 mm. Vyšší hodnoty jsou pro tloušťky materiálu od 0,5 do 2 mm.			

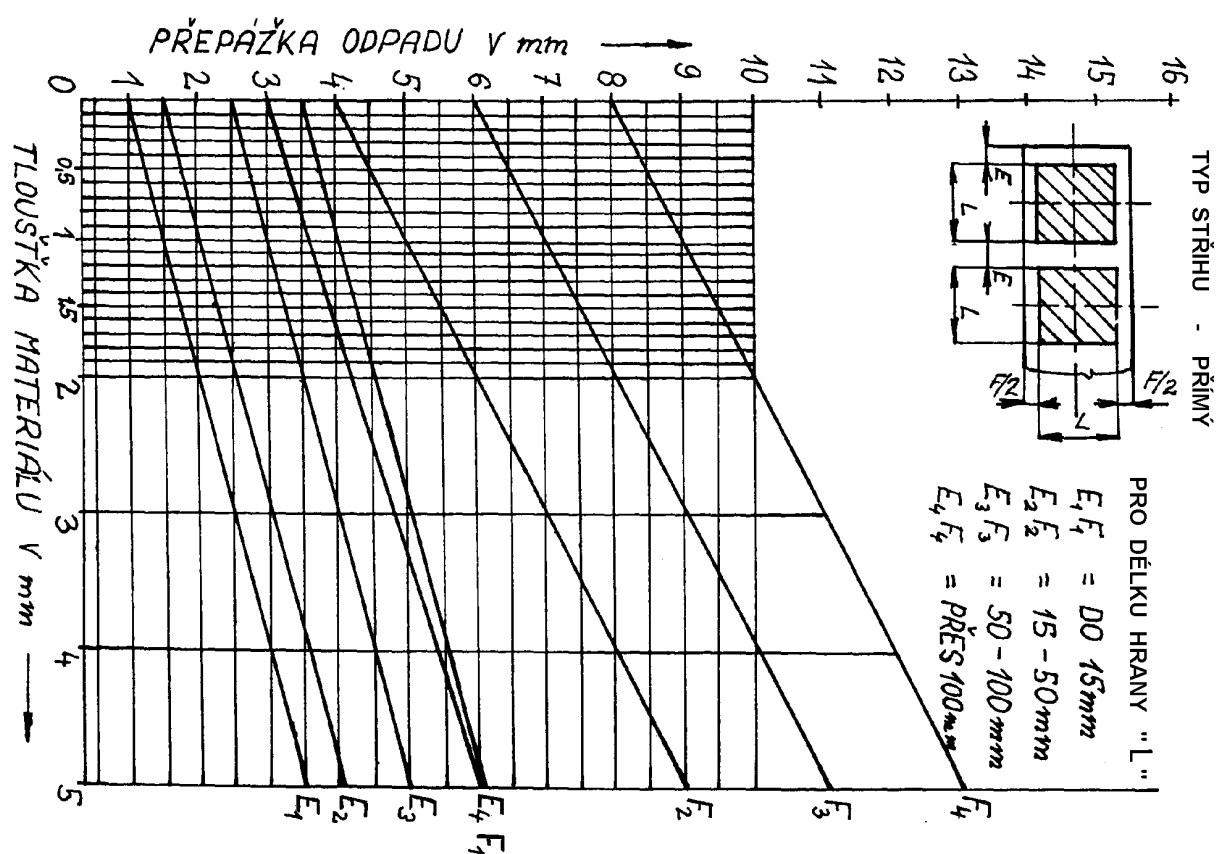
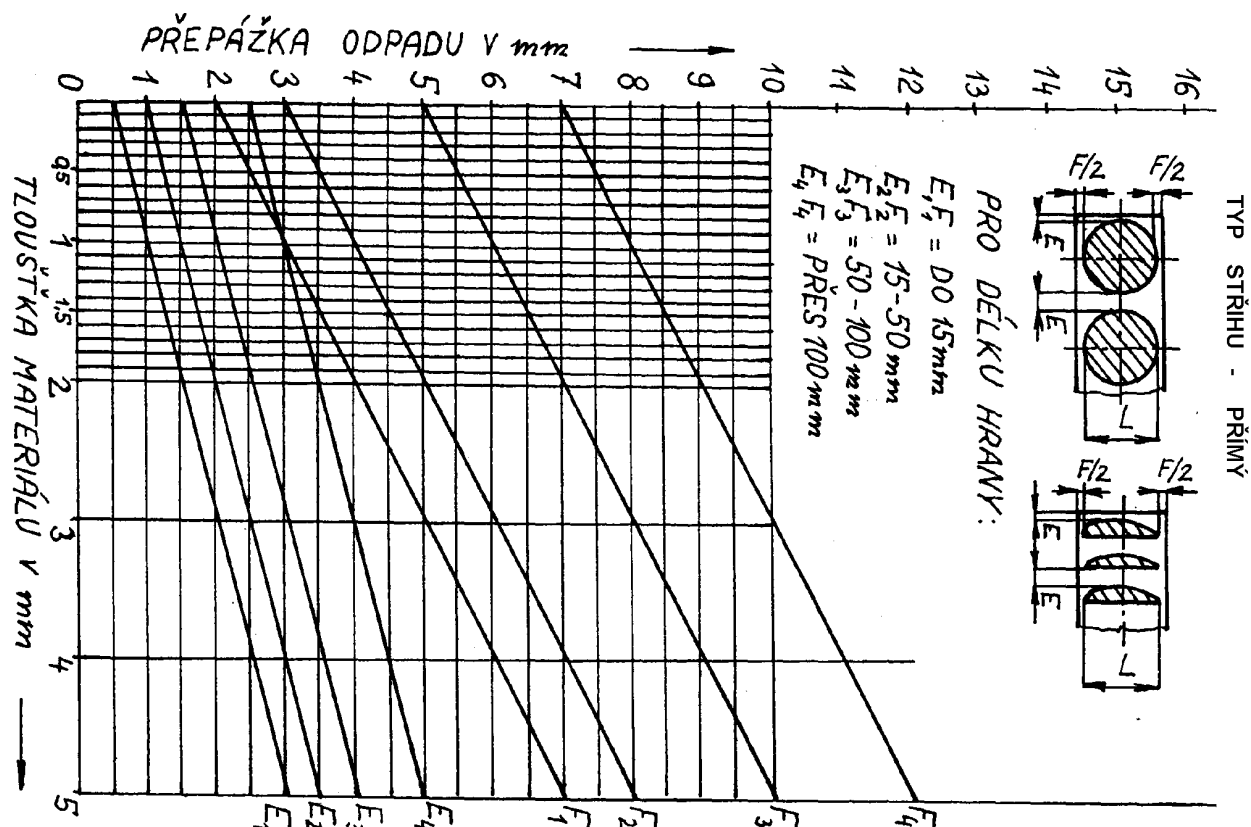
## PŘÍLOHA 6 – Koeficient $k$ [7]

Materiál	Tloušťka materiálu $t$ [mm]			
	do 1	1 až 2	2 až 4	nad 4
Ocel měkká $k_s = 250 \div 350$ MPa	$0,70 \div 0,65$	$0,65 \div 0,60$	$0,60 \div 0,50$	$0,45 \div 0,35$
Ocel středně tvrdá $k_s = 350 \div 500$ MPa	$0,60 \div 0,55$	$0,55 \div 0,50$	$0,50 \div 0,42$	$0,40 \div 0,30$
Ocel tvrdá $k_s = 500 \div 700$ MPa	$0,45 \div 0,42$	$0,42 \div 0,38$	$0,38 \div 0,33$	$0,30 \div 0,20$
Hliník, měď (žíhané)	$0,75 \div 0,70$	$0,70 \div 0,65$	$0,65 \div 0,55$	$0,50 \div 0,40$

## PŘÍLOHA 7 – Koeficienty $k_{eu}$ a $k_{ev}$ [7]

Materiál	Koeficient	
	$k_{eu}$	$k_{ev}$
Ocel	0,1 až 0,13	0,05
Mosaz	0,06 až 0,07	0,04
Slitiny Al	0,09	0,02 až 0,04

# PŘÍLOHA 8 – Diagramy pro určení velikosti přepážky [18]





## Jednostranné odvíjáky QOPJ

Odvíják slouží k odvíjání pásovému materiálu zo zvitku alebo k navíjaniu vydierovaného pásu pri spracovaní v tvarovacej linke. Najčastejšie pracuje v linke v súčinnosti s ďalšími strojami ako rovnačkou, podávačom, lisom prípadne deliacim zariadením.

Pohon upínacieho trnu odvíjaka je motorický so samočinným ubrzdením trhu pri vypnutí pohonu.

Ovládanie odvíjaka je možné ručne, pomocou ovládacích prvkov na paneli stroja alebo automatické, pomocou ovládacieho ramena, ktoré kontroluje veľkosť previsu odvíjaného alebo navíjaného pásu. Odvíjanie je možné v oboch smeroch podľa postavenia v linke. Podľa toho sa na odvíják montuje ovládacie rameno, ovládací panel a pneumatický ovládaný držiak zvitku. Držiak je dodávaný ako zvlášťne príslušenstvo na zvláštnu objednávku.

Meniteľný rozsah upínacieho priemeru trnu odvíjaka sa dá meniť montážou nádstavcov, ktoré sú súčasťou základného vybavenia stroja. Upnutie a stredenie zvitku sa prevádza ručne.

Pneumaticky ovládaný držiak zvitku bráni možnému rozvinutiu zvitku v dosledku pružnosti zvinutého pásu. Montuje sa na podstavec odvíjaka a jeho činnosť sa ovláda ručne.

So strojom sa dodáva normálne príslušenstvo potrebné pre montáž a prestavenie.



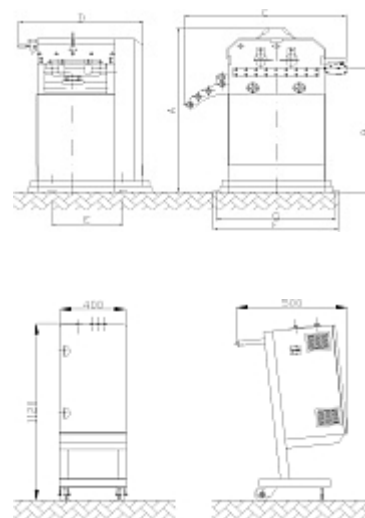
Technické údaje:			QOPJ 160/650	QOPJ 250/1400
Max.šírka zvitku	mm		160	250
Max. hmotnosť zvitku	kg		650	1400
Max. vonkajší priemer zvitku	mm		1250	1250
Max. vnútorný priemer zvitku	mm		600	600
Min. vnútorný priemer zvitku	mm		400	400
Výkon elektrického motora	kW		0,55	0,55
Spotreba vzduchu na zvitok	m <sup>3</sup>		0.008*	0.008*
Hmotnosť stroja	kg		330	560
Min. rýchlosť odvíjania pri min. zvitku 400 mm	m/min		13	13
Min. rýchlosť odvíjania pri max. zvitku 600 mm	m/min		20	20
Max. rýchlosť odvíjania na max. vonk. priemere zvitku 1250 mm	m/min		41	41
Sieťové napätie	3x380/220 V,50 Hz			
Rozmery stroja	A	mm	1580	1680
	B	mm	1580	1590
	C	mm	775	890
	D	mm	max. 160	max. 250
	E	mm	725	845
	F	mm	660	775
	H	mm	920	1000

## **Podávacia rovnačka QPRM 300 / 6**

Podávacia rovnačka je určená k rovnaniu pásu plechu odvíjaného zo zvitku a zároveň jeho presné podávanie do technológie - nástroja lisu. Podávacia rovnačka môže pracovať ako samostatný stroj buď z ľavej alebo z pravej strany lisu a vyžaduje pevné mechanické prepojenie jednoduchej konštrukcie s výstredníkovým lisom. Je navrhnutá predovšetkým pre prácu v linke v zostave: odvíjak , podávacia rovnačka , lis, čím sa vytvorí automaticky pracujúca linka.

Ovládanie podávacej rovnačky je navrhnuté samostatne stojacím ovládacím panelom. Na displeji ovládacieho panelu zobrazuje tiež pomocné textové správy a chybové hlásenia. Má pripravený vstup pre pripojenie čidla kontrolujúceho presné podanie materiálu v nástroji lisu.

Pohon zabezpečuje servomotor a servomenič LENZE. Elektroobvody sú pripravené na spoluprácu strojov v automatizovanej linke na prepojenie bezpečnostného obvodu Centrál stopov.



<b>Technické údaje:</b>		<b>QPRM 300 / 6</b>
Max. šírka pásu	mm	300
Hrúbka pásu	mm	0,6 - 6
Max. spracovávaný prierez	mm <sup>2</sup>	900
Priemer rovnacích valcov	mm	60
Max. rýchlosť podávania	m/min	45
Presnosť podania	mm	+/- 0,1
Prestavenie rovnacej výšky – ručne	mm	250
odmeriavanie presnosti podania snímačom na páse plechu, otváranie vstupných zavádzacích valcov ručne pomocou páky, podopreté spodné aj vrchné rovnacie valce.		
Elektromotor : Výkon	kW	3,2
Príkon	kW	3,3
Napätie		3 x 400 V , 50 Hz
<b>Parametre zadávané cez technologickú klávesnicu:</b>		
Dĺžka podania	mm	1 – 9999,9
Rýchlosť podania v aut. režime		1 – 99 %
Rýchlosť podávania v ruč. režime		1 – 50 %
Požadovaný počet podaní		1 – 10000 ks
Počet kusov v dávke		1 – 10000 ks
Uhol začiatku podania		0- 359°
Voľba režimu spúšťania zdvihu lisu		- jednotlivý zdvih - trvalý chod
Rozmery stroja – A mm		1630
- B mm		1330
- C mm		1115
- D mm		1100
- E mm		570
- F mm		830
- G mm		790
Hlučnosť stroja		dB
Celková hmotnosť		kg
		77
		900